

WOMAG

Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche



Korrosionsschutz

30%
REDUZIERTER
ENERGIEBEDARF



SLOTOLOY ZN 210 VX

Das patentierte Zink-Nickel-Legierungsbad SLOTOLOY ZN 210 VX ist ein alkalisches, einstufiges Verfahren zur Abscheidung von Zink-Nickel Legierungsüberzügen mit einem Nickelanteil von 12-15 Gewichtsprozent.

SLOTOPAS ZNT 80

Die Passivierung SLOTOPAS ZNT 80 wird auf galvanisch abgeschiedenen Zink-Nickel-Legierungsschichten eingesetzt. Die Passivierung erzeugt eine Chrom VI-freie Schutzschicht, die alle gängigen Korrosionsanforderungen erfüllt.

SLOTOFIN GM 2450

SLOTOFIN GM 2450 ist eine Versiegelung zur Beschichtung von Verbindungselementen mit einer Gesamtreibungszahl von 0,09-0,14; Mehrfachanzug (MBN 10544, VW 01131), Warmlöseverhalten und die Anforderungen nach DIN EN ISO 16047 werden erfüllt.



Die perfekte Trilogie!

DR.-ING. MAX SCHLÖTTER GMBH & CO. KG | TALGRABEN 30 | 73312 GEISLINGEN/STEIGE | T +49 (0) 7331 205-0 | WWW.SCHLOETTER.DE

WERKSTOFFE

Werkstoff-, Oberflächen- und Füge-technik

WERKSTOFFE

EHLA – Aufbruch in die dritte Dimension

OBERFLÄCHEN

Oberflächenreinigung mit Plasma und CO₂-Schneestrahilverfahren

OBERFLÄCHEN

Ein Meilenstein bei Thoma: EHLA-Technologie implementiert

OBERFLÄCHEN

Das Leipziger Fachseminar ist zurück

SPECIAL

Plasmanitrieren zur Verbesserung der Haftfestigkeit von DLC-Schichten

MAI 2023

Branchen-News täglich: womag-online.de



INNOVATIONEN SICHERN DIE ZUKUNFT. LÖSUNGEN DIE GEGENWART.

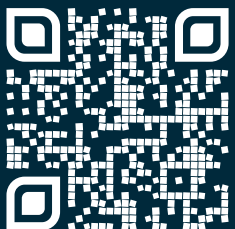
renner-pumpen.de





STZ Tribologie
Steinbeis Transfer Zentrum

**WIR ANALYSIEREN
IHRE OBERFLÄCHEN,
IHRE BESCHICHTUNGEN
UND IHRE WERKSTOFFE.**



Jetzt anfragen:
www.steinbeis-analysezentrum.com

Thermisch Spritzen und Co auf dem Vormarsch



Das thermische Spritzen – einschließlich der verschiedenen Spezialverfahren mit teilweise anderen Bezeichnungen – ist seit vielen Jahrzehnten bekannt und galt bei zahlreichen Fachleuten der Fertigungs- und Prozesstechnik eher als Nischentechnologie. Seit kurzem hat, vor allem durch die Mitwirkung der Spezialisten aus der Lasertechnologie, das thermische Spritzen (mit den verschiedenen Varianten zur Herstellung von Schichten oder 3D-Druck-Teilen) insbesondere mit den Verfahrensvarianten des Laserauftragschweißens erheblichen Aufschwung erfahren. Erkennbar ist dieser zusätzliche Schwung zum Beispiel an einigen aktuellen Themen der Forschung und

Entwicklung, die unter anderem auf der sehr interessanten Tagung WTK2023 an der TU Chemnitz präsentiert wurden (Bericht Seite 4ff). Die Entwicklungen richten sich auf neue Werkstoffe ebenso wie auf neue Verarbeitungsmethoden oder Verfahren zur Prozesssteuerung und -überwachung. Auf der Tagung geschilderte Beispiele einer technischen Umsetzung zeigen ein erstaunlich breites Eigenschaftsspektrum dieses Verfahrensart.

Zu den absoluten Spezialisten der Oberflächentechnik für hochbeanspruchte Bauteile zählen sich die Galvanikunternehmen für funktionelle Oberflächen. Mit der in der REACh-Verordnung festgelegten Einschränkung der Verwendung von sechswertigem Chrom als Basisstoff für die Hartverchromung stehen die in diesem Bereich tätigen Unternehmen vor der Herausforderung, Alternativen zu entwickeln und für ihre Kunden anzubieten. Diesen Schritt hat jetzt die Thoma Metallveredelung, eines der innovativsten Unternehmen in ihrem Fachbereich, mit der Implementierung der EHLA-Technik vollzogen (EHLA steht für extremes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen). Thoma hat damit die Möglichkeit, vor allem Wellen für Hydraulikbauteile zu beschichten, die bisher nahezu ausschließlich mit funktionellen Hartchromschichten versehen wurden. Die Implementierung bei Thoma (Bericht Seite 26ff) hat für die Kunden des Beschichtungsunternehmens den immensen Vorteil, dass hier alle notwendigen Vor- und Nachbearbeitungsverfahren in der erforderlichen hohen Qualität durchgeführt werden können. Mit dieser Erweiterung des Angebots hat Thoma den von der REACh-Verordnung geforderten alternativen Entwicklungsschritt vollzogen – jetzt sind die Kunden der Oberflächentechnik aufgefordert, die mit dem EHLA-Verfahren beschichteten Oberflächen in breiterem Umfang einzusetzen.

WOMAG – VOLLSTÄNDIG ONLINE LESEN

WOMAG ist auf der Homepage des Verlages als pdf-Ausgabe und als html-Text zur Nutzung auf allen Geräteplattformen lesbar. Einzelbeiträge sind mit den angegebenen QR-Codes direkt erreichbar.



SAVE THE DATE

16.11.2023 in Leipzig

GALVANO-
Zirkel



MUNK
WE HAVE THE POWER!

Wir laden Sie gerne ein!

Am 16.11.2023 findet im Leuchtenbau, in Leipzig der GalvanoZirkel mit der MUNK GmbH und weiteren interessanten Firmen statt!

Besuchen Sie uns gerne!
Mehr Informationen unter:
www.galvano-zirkel.de



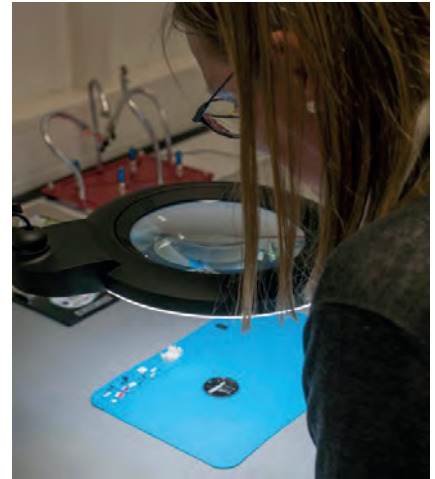
MUNK GmbH

Gewerbepark 8+10 | D-59069 Hamm-Rhyrn / Germany

Tel.: +49 2385 74-0

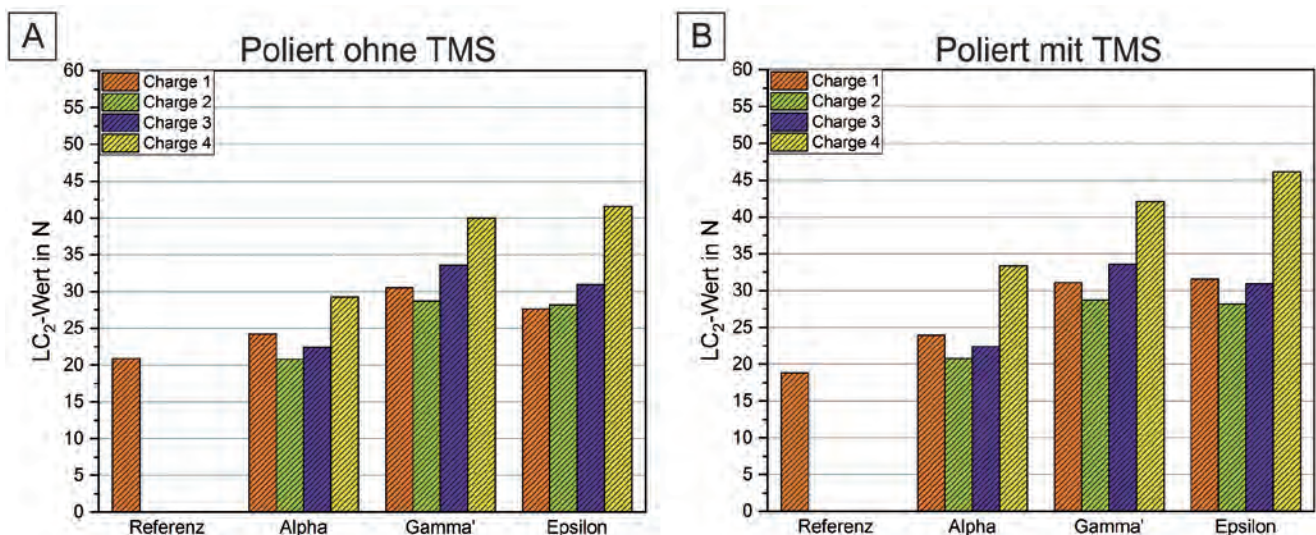
E-Mail: vertrieb@munk.de

www.munk.de |



40 FabLab an der TU Ilmenau

4 Entwicklungen im Bereich Werkstoff- und Oberflächentechnik – WTK'23



19 Erhöhung der Haftfestigkeit von DLC-Schichten durch Plasmanitrieren und mechanische Oberflächenbehandlung

WERKSTOFFE

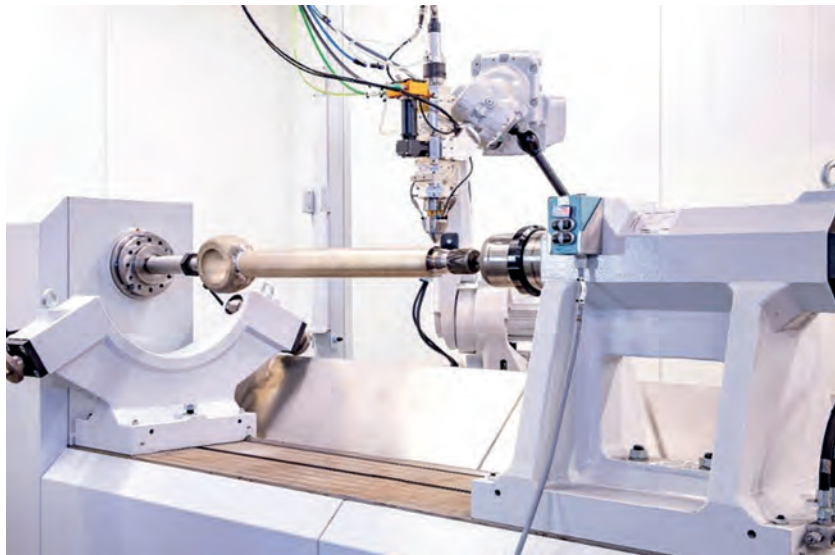
- 4** Werkstoff-, Oberflächen- und Fügetechnik – Entwicklungen und Anwendungen im Fokus
- 6** Glatte Schnitte dank Wasserkraft
- 7** 5. Lasersymposium Elektromobilität LSE'23
- 9** Atomlagenabscheidung in ihrer ganzen Breite – von den Grundlagen bis zur Anwendung
- 12** Aufbruch in die dritte Dimension
- 14** Fahrzeugleichtbaustrukturen mit integrierten Elektronikkomponenten für Elektro-Autos
- 15** Neu bei plating electronic – virtueller Messestand
- 16** Werkzeug-, Modell-, Formenbauer und Zulieferer an einem Ort

MEDIZINTECHNIK

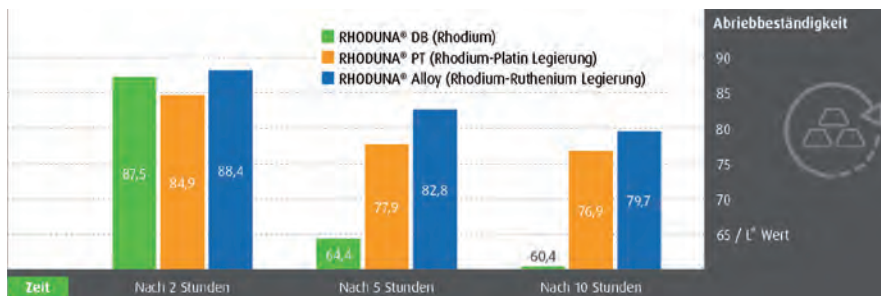
- 17** Eisenoxid-Nanopartikel für die Medizintechnik

OBERFLÄCHEN

- 18** Wie lassen sich Altbatterien energieeffizient recyceln?
- 19** Plasmanitrieren zur Verbesserung der Haftfestigkeit von DLC-Schichten auf dem hochlegierten Werkzeugstahl X155CrVMo12-1
- 23** Oberflächenreinigung mit Plasma- und CO₂-Schneestrahlfahrer – Gut benetzend ist nicht immer sauber! – Teil 2
- 26** Ein Meilenstein bei Thoma: EHLA-Technologie implementiert
- 29** Hochleistungs-Kaltgasbeschichten etabliert sich



26 Galvanikdienstleister erweitert Portfolio durch EHLA-Technologie



36 Abriebfeste und dekorative Rhodiumbeschichtung in höchster Qualität

OBERFLÄCHEN

- 30 Simultan arbeitende Hochtechnologie spart Kosten und schont die Umwelt
- 31 Das Leipziger Fachseminar ist zurück
- 36 Abriebfest wie keine andere strahlend weiße Rhodiumbeschichtung
- 38 parts2clean 2023: High Purity-Reinigung – Hype oder neue Anforderungen?
- 39 Produktionsprozesse überwachen durch innovative Sensoreinsätze

BERUF + KARRIERE

- 40 Vom 3D-Drucker bis hin zur Tauchsäge: Ein FabLab für die TU Ilmenau

Zum Titelbild: Das Unternehmen Dr.-Ing. Max Schlötter aus Geislingen/Steige zählt zu den großen Anbietern von innovativen Korrosionsschutzsystemen: www.schloetter.de

WOMag – Kompetenz in Werkstoff und funktioneller Oberfläche – Internationales Fachmagazin in deutscher und (auszugsweise) englischer Sprache
www.womag-online.de
 ISSN: 2195-5891 (Print), 2195-5905 (Online)

Erscheinungsweise

10 x jährlich, wie in den Mediadaten 2023 angegeben

Herausgeber und Verlag

WOTech – Charlotte Schade –
 Herbert Käszmann – GbR
 Am Talbach 2
 79761 Waldshut-Tiengen
 Telefon: 07741/8354198
www.wotech-technical-media.de

Verlagsleitung

Charlotte Schade
 Mobil 0151/29109886
schade@wotech-technical-media.de
 Herbert Käszmann
 Mobil 0151/29109892
kaeszmann@wotech-technical-media.de

Redaktion/Anzeigen/Vertrieb/Abo

siehe Verlagsleitung

Bezugspreise

Jahresabonnement für WOMag-Online:

149,- €, inkl. MwSt.

Die Mindestbezugszeit eines Abonnements beträgt ein Jahr. Danach gilt eine Kündigungsfrist von zwei Monaten zum Ende des Bezugszeitraums.

Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 12 vom 25. Oktober 2022

Inhalt

WOMag berichtet über:

- Werkstoffe, Oberflächen
- Verbände / Institutionen
- Unternehmen, Ausbildungseinrichtungen
- Veranstaltungen, Normen, Patente

Leserkreis:

WOMag ist die Fachzeitschrift für Fachleute aus dem Bereich der Produktherstellung für die Prozesskette – von Design und Konstruktion bis zur abschließenden Oberflächenbehandlung des fertigen Produkts. Im Vordergrund steht die Betrachtung der Werkstoffe und deren Bearbeitung mit Blickrichtung auf die Oberfläche der Produkte aus den Werkstoffen Metall, Kunststoff und Keramik.

WOMag-Beirat

WOMag wird von einem Kreis aus etwa 20 Fachleuten der Werkstoffbe- und -verarbeitung sowie der Oberflächen-technik beraten und unterstützt.

Bankverbindung

BW-Bank, IBAN: DE71 6005 0101 0002 3442 38
 BIC: SOLADEST600; (Konto 2344238, BLZ 60050101)

Das Magazin und alle in ihm enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Bei Zusendung an den Verlag wird das Einverständnis zum Abdruck vorausgesetzt. Nachdruck nur mit Genehmigung des Verlags und ausführlicher Quellenangabe gestattet. Gezeichnete Artikel decken sich nicht unbedingt mit der Meinung der Redaktion. Für unverlangt eingesandte Manuskripte haftet der Verlag nicht.

Gerichtsstand und Erfüllungsort

Gerichtsstand und Erfüllungsort ist Waldshut-Tiengen

Herstellung

WOTech GbR

Grafische Gestaltung (Grundlayout)

Wasserberg GmbH

Druck

Holzer Druck + Medien GmbH & Co. KG
 Fridolin-Holzer-Straße 22+24, 88171 Weiler
 © WOTech GbR, 2016

Werkstoff-, Oberflächen- und Fügetechnik – Entwicklungen und Anwendungen im Fokus

Großer Zuspruch für das 23. Werkstofftechnische Kolloquium der TU Chemnitz am 29./30. März 2023



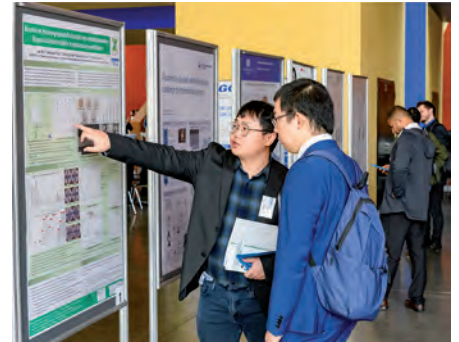
Zum online-Artikel

Prof. Dr. Thomas Lampke zeigte sich bei der Eröffnung des 23. Werkstofftechnischen Kolloquiums im Konferenzzentrum der Universität sehr erfreut über den großen Zuspruch zur Tagung. So konnten die Veranstalter auf die Unterstützung durch die Fachverbände DGM, DGO und DVS bauen und die Teilnahme der Unternehmen Carl Zeiss GOM Metrology, Cloeren Technology, Evident Europe, Hege- wald & Peschke, Höganäs Germany, Limess, Polytec und ZwickRoell brachte zusätzliche technisch-wissenschaftliche Inhalte für die Tagung mit insgesamt 64 Fachvorträgen.

Das traditionsreiche Werkstofftechnische Kolloquium (WTK) wurde wie in den vergangenen Jahren vom Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnik (IWW), vertreten durch die Professoren Thomas Lampke, Andreas Undisz, Guntram Wagner und Martin F.-X. Wagner, veranstaltet. Annähernd 200 nationale und internationale Teilnehmerinnen und Teilnehmer schufen eine attraktive Plattform für wissenschaftliche Diskussionen und trugen zur Vernetzung mit Fachleuten aus der Industrie, die ein Viertel der Teilnehmerzahl ausmachten, bei. Grußworte von Prof. Andreas Schubert, Dekan der Fakultät für Maschinenbau an der TU Chemnitz, und Dr. Klaus Nassenstein, Präsident des Forschungs- und Transfernetzwerks Mittelstand AiF e. V. sowie Geschäftsführer und Mitinhaber der GTV Verschleißschutz GmbH, betonten die Bedeutung der Veranstaltung als Impulsgeber und Diskussionsplattform. Im Sinne des Leitsatzes des Kolloquiums *Wissenschaft trifft Wirtschaft* sprach Dr. Nassenstein über das Forschungsnetzwerk der AiF. Junge Startups und ein Forschungsverbund bereicherten die Ausstellung, was die enge Verknüpfung zwischen Wissenschaft und Wirtschaft verdeutlichte und Karriereperspektiven für den wissenschaftlichen Nachwuchs aufzeigte. Drei aus EXIST-Forschungstransferprojekten hervorgegangene Startups waren vor Ort: Die CMMC GmbH, eine Ausgründung aus der TU Chemnitz, bietet ein neuartiges Herstellungsverfahren für AMC-Werkstoffe und die Produktion dieser Werkstoffe an. Das Gründungsprojekt NanoSen, ebenfalls eine Ausgründung aus der TU Chem-

nitz, entwickelte ein innovatives Verfahren zur kostengünstigen Massenproduktion von Kraftsensoren aus Nanokompositen. Für die Werkstoffqualitätskontrolle in der industriellen Anwendung nutzt die MiViA GmbH, eine Ausgründung der TU Bergakademie Freiberg, ein selbstlernendes autonomes Mikrostrukturanalyse-System.

Der Vortragsteil des Kolloquiums wurde von einer Posterausstellung sowie einer Postersession begleitet. Die besten Poster, ausgewählt aus den vor dem gesamten Plenum in Kurzvorträgen präsentierten Beiträgen, wurden während der Abendveranstaltung des ersten Konferenztags mit dotierten Preisen gekrönt. Die drei Gewinner waren Dr. Jan Tomastik von der Palacký University Olomouc aus Tschechien (1. Platz), Jun Xu von Innovent e. V. aus Jena (2. Platz) und Tobias Heib von der Universität des Saarlandes (3. Platz). Die 64 Fachvorträge befassten sich mit unterschiedlichen Themenschwerpunkten rund um die Werkstoff- und Oberflächentechnik, wie Thermisches Spritzen, Material- und Prozessentwicklung, Fügen, Additive Fertigung, Mensch-Technik-Interaktion, Simulation, Hochentropielegierungen oder Randschichten.



Postersession auf dem diesjährigen WTK in Chemnitz
(Bild: TU Chemnitz)

Thermisches Spritzen

Wirkung von Auftreffkräften thermisch gespritzter Partikel

Wie Dr. Šárka Houdková, Research and Testing Institute Plzen Ltd., Tschechien, einfühend betonte, unterliegt jede thermisch gespritzte Schicht dynamischen Druckbelastungen durch die auftreffenden Teilchen während des Spritzvorgangs. Diese variierenden Kräfte wirken sich auf die Eigenschaften der Beschichtung aus. Während die Dynamik von auftreffenden Partikeln bei PVD- und



Verleihung der Best Poster Awards (v. l. n. r.): Prof. Martin F.-X. Wagner, Jun Xu, Prof. Thomas Lampke, Dr. Jan Tomastik, Tobias Heib, Prof. Guntram Wagner, Prof. Andreas Undisz

(Bild: Felix Schubert)

CVD-Schichten bereits seit 30 Jahren untersucht wird, ist dies beim thermischen Spritzen erst seit kurzem der Fall. Dabei ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die Partikel beim thermischen Spritzen um ein Vielfaches größer sind. Ähnliche Verhältnisse der auftretenden Kräfte sind beispielsweise auch bei Strahlbehandlungen oder Erosionsvorgängen zu erwarten.

Für die durchgeführten Untersuchungen an HVOF-Schichten wird ein spezieller Impacttest eingesetzt. Ähnlich wie bei PVD/CVD-Verfahren ist die Schicht aus drei gut zu unterscheidenden Zonen aufgebaut. Untersucht wurden die Eigenschaften bei verschiedenen Materialien sowie bei unterschiedlichen Schichtdicken. Die auftretenden Einschlagkräfte der Schichten sind abhängig von der Partikelgröße. Aus der jeweiligen Spannung folgen unterschiedliche Beständigkeiten gegen Verschleiß. Ein weiterer Unterschied zeigt sich bei den vorhandenen Rissen in den Schichten. Neben solchen Rissen wurden bei den Untersuchungen je nach Material und Spritzbedingungen auch Ablösungen von Schichtsegmenten festgestellt. Die Verschleißbeständigkeit weist nur eine geringe

Abhängigkeit von der Aufschlagleistung der Partikel bei der Schichtherstellung auf. Bei den verschiedenen Schichtwerkstoffen konnten unterschiedliche Ausführungen an Eigen- und Spannungen ermittelt werden.

Haftvermittlerschichten für Barrier Coatings

Die von Dr. Georg Mauer vom Forschungszentrum Jülich eingesetzten HVOF-Schichten (Hochgeschwindigkeitsspritzen mit Luft-Brennstoff) zeichnen sich durch relativ hohe Partikelgeschwindigkeiten bei eher geringen Temperaturen der Partikel beim Beschichten aus. Hinsichtlich der erreichbaren Partikelgeschwindigkeiten und -temperaturen lässt sich die Beschichtungstechnologie zwischen dem Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF) und dem Kaltgasspritzen (CGS) einordnen. Die Vorteile des HVOF-Verfahrens hinsichtlich moderater Prozesstemperaturen, hoher Partikelgeschwindigkeiten sowie hoher Produktivität und Effizienz legen nahe, dass seine Anwendung auch für die Herstellung von MCrAlY-Haftvermittlerschichten (M = Co und/oder Ni) in Wärmedämmschichtsystemen (TBC) untersucht werden sollte.

Als Brennstoffe beim HVOF-Verfahren werden Propylen und Propan eingesetzt. Bei dieser Art der Beschichtung werden die Partikel in der Brennkammer erhitzt. Der Strahl selbst unterliegt bei der Nutzung bestimmter Spritzparameter einer pulsierenden Kompression, die durch Anpassung der Anlagenparameter vermieden werden kann.

Die Anpassung der Spritzparameter verändert die Mikrostruktur der Schichten, zum Beispiel im Hinblick auf das Aufschmelzen der Partikel, wobei die kleineren Partikel in der Regel aufgeschmolzen werden können. Größere Partikel werden nur partiell aufgeschmolzen und verhalten sich zäh-viskos.

Lesen Sie weiter unter womag-online.de

WOMag-online-Abonnenten steht der gesamte Beitrag zum Download zur Verfügung. Der gesamte Bericht (Teil 1) enthält die Inhalte von 8 Beiträgen über thermisches Spritzen und von 7 Beiträgen zum Themenbereich des Fügens. Der Gesamtumfang des Beitrags beträgt etwa 5 Seiten mit 3 Abbildungen.



TIBCHEMICALS

Galvanochemikalien von TIB Chemicals

Zuverlässig seit Jahrzehnten

- Metallsalze
- Säuren
- organische Intermediate
- anwendungsbereite Formulierungen

Wir bieten eine breite Palette an Grundchemie und produktbezogenen Dienstleistungen für viele Oberflächentechnik-Anwendungen.

Fordern Sie unsere neue Galvanobroschüre an oder besuchen Sie unsere Website!



TIB Chemicals AG
BU Metall- & Oberflächenchemie
Mülheimer Straße 16–22
68219 Mannheim
Deutschland

Tel.: +49 621 8901-800
Fax: +49 621 8901-1800
E-Mail: moc@tib-chemicals.com

www.tib-chemicals.com



Glatte Schnitte dank Wasserkraft

Ceratizit mit neuem Wasserstrahldüsen-Portfolio

Wasser ist nicht nur Lebenselixier, sondern hat sich zum Kühlen, zur Reinigung oder als Lösungsmittel auch in der industriellen Produktion etabliert. Darüber hinaus hat sich das Wasserstrahlschneiden als verlässliche Alternative zu den herkömmlichen Trennverfahren etabliert: Extrem glatte Schnittkanten ohne thermische Belastung, Nachbearbeitung und minimale Schnittfugen sind nur einige Vorteile des Schneidverfahrens – und das bei einer Vielzahl von Werkstoffen und Anwendungen. Ein wesentlicher Faktor für effiziente Prozesse sind dabei die Wasserstrahldüsen. Mit dem neuen HyproJET-Portfolio setzt Ceratizit dort neue Maßstäbe in Sachen Qualität und Haltbarkeit.

Wasserstrahlschneiden funktioniert einfach und effektiv: Der Schneidkopf richtet einen feinen Wasserstrahl mit hohem Druck bis zu 6000 bar, einem Strahldurchmesser von 0,38 bis 1,02 Millimeter. Bei diesem spannungsfreien Schneidprozess werden die oberflächennahen Werkstoffpartikel ohne jeglichen Wärmeeintrag in das Material abgetrennt. Das macht das Verfahren zur optimalen Lösung für temperaturempfindliche und dicke Materialien mit komplexen Geometrien.

Drei Varianten für sämtliche Anforderungen

Da die Möglichkeiten des Wasserstrahlschneidens enorm vielfältig sind, haben unterschiedliche Anwender auch die verschiedensten Anforderungen. Um das abzudecken, hat Ceratizit seine HyproJET-Serie mit drei Standard-Wasserstrahldüsen entwickelt: *Enge Lochtoleranzen, perfekter Schliff und Rundlaufgenauigkeit garantieren präzise Arbeitsergebnisse*, sagt Mesut Goksu, Segment Account Manager bei Ceratizit. Die HyproJET X6 ist das Kraftpaket mit verbessertem Abrasivmittel- und Luftstrom in der Düse sowie einem speziellen Design zum Schneiden selbst schwieriger Materialien. Für Standardanwendungen hat das Unternehmen die HyproJET P6 im Programm, die sich besonders durch ihr ideales Preis-/Leistungsverhältnis auszeichnet. Wer qualitativ hochwertige Ergebnisse bei geringen Kosten benötigt, greift zur kostenoptimierten Standard-Wasserstrahldüse S3. Alle Düsen sind für moderne Schneid-

kopfsysteme geeignet und unterstützen die automatische Zentrierung bei der Montage.

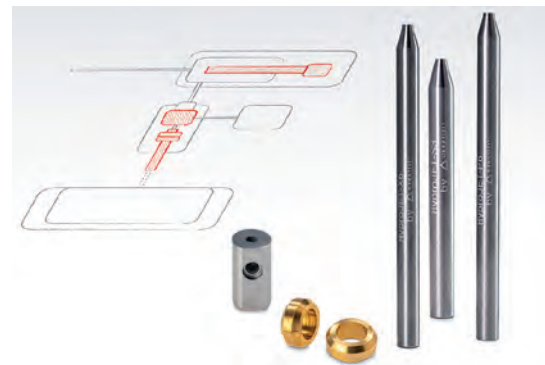
Optimierter Verschleißschutz trotz Abrasiven

Bei manchen zu bearbeitenden Materialien reicht Wasser als Schneidstoff allein nicht aus. Dann mischt die Anlage dem Wasserstrahl ein Abrasivmittel wie Granat oder Korbund bei. Insbesondere bei anspruchsvollen Werkstoffen wie Stahl, Stein, Glas oder Verbundstoffen sind Abrasive sehr effiziente Helfer. Doch so sehr sie den Schneidprozess auch unterstützen, sind sie nicht ohne Nachteil, weiß Mathieu Schellenberger, Projektmanager in der Produktentwicklung bei Ceratizit: *Sie belasten die Fokussierrohre sehr stark durch Erosion. Deshalb haben wir bei der Neugestaltung der HyproJET-Produkte besonders den Verschleißschutz weiter verbessert.* Dazu wurden spezielle Hartmetallsorten verwendet, wodurch die HyproJET-Düsen selbst bei Drücken bis zu 6000 bar lange durchhalten und sehr hohe Schnittqualitäten erreichen.

Hartmetall-Lösungen aus einer Hand

Ceratizit übernimmt sämtliche Prozessschritte vom Hartmetallpulver bis zur einsatzbereiten Lösung. Zusätzlich zum umfassenden Wasserstrahldüsen-Portfolio stellt das Unternehmen verschiedene Mischkammern aus speziellen Hartmetallsorten her, um den unterschiedlichen Verschleißmechanismen innerhalb dieser Kammern gerecht zu werden. Kolben für Hochdruckpumpen, Spritzscheiben, Auffangtassen, Einlassführungen, Verschleißplatten, Drosselschilde und Einlassrohre werden darüber hinaus angeboten.

Damit die HyproJET-Düsen sicher bei den Kunden ankommen, hat Ceratizit auch in Sachen Verpackung einiges verändert: So setzt das Unternehmen auf Kunststoffhülsen, die die Wasserstrahldüsen optimal schützen, aber gleichzeitig besonders nachhaltig sind. Sie werden zu 100 Prozent aus recyceltem Kunststoff, dem so genannten PCR-Plastik (Post Consumer Recycled) hergestellt, was die CO₂-Emissionen im Vergleich zu herkömmlich produziertem Kunststoff um mindestens 60 Prozent reduziert.



HyproJET-Portfolio

(Bild: Ceratizit)

Neues Portfolio kommt gut an

Bevor ein neues Produkt auf den Markt kommt, durchläuft es intensive Tests. Dazu arbeitet Ceratizit mit Experten für das Wasserstrahlschneiden zusammen, die das HyproJET-Portfolio bereits im industriellen Einsatz ausprobieren konnten. Die Reaktionen übertreffen laut Mesut Goksu sogar die eigenen hohen Erwartungen. *Denn wenn wir hören, dass selbst erfahrene Profis von den Standzeiten und Schnittqualitäten der HyproJET X6 schwärmen, haben wir unser Ziel erreicht: Ein Produkt zu entwickeln, dass die tägliche Arbeit effizienter werden lässt und dabei höchste Qualitätsstandards erfüllt.*

Über Ceratizit

Ceratizit, ein Unternehmen der Plansee Group, ist seit über 100 Jahren Pionier auf dem Gebiet anspruchsvoller Hartstofflösungen für Zerspanung und Verschleißschutz mit Sitz in Mamer, Luxemburg. Es entwickelt und produziert hochspezialisierte Zerspanungswerkzeuge, Wendeschneidplatten, Stäbe aus Hartstoffen und Verschleißteile. Das Unternehmen beschäftigt weltweit über 8000 Mitarbeitende an mehr als 30 Produktionsstätten und verfügt über ein Vertriebsnetz mit über 50 Niederlassungen. Zum internationalen Netzwerk gehören unter anderem das Tochterunternehmen Stadler Metalle sowie das Joint Venture CB-Ceratizit. Ceratizit investiert kontinuierlich in F&E und besitzt mehr als 1200 Patente. Innovative Hartstofflösungen des Unternehmens werden unter anderem im Maschinen- und Werkzeugbau, in der Automobilbranche, in der Luft- und Raumfahrtindustrie, in der Öl- und Gasindustrie sowie in der Medizinindustrie eingesetzt.

➔ www.ceratizit.com

5. Lasersymposium Elektromobilität LSE'23

Nach drei langen Online-Jahren traf sich die Branche auf dem 5. Lasersymposium Elektromobilität LSE des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT endlich wieder in Präsenz in Aachen. Wie das Fraunhofer ILT berichtet, folgten rund 50 Interessierte der Einladung zum Fraunhofer ILT. Referierende aus Forschung und Industrie berichteten über Fortschritte, Trends und Ideen, um die Elektromobilisierung weiter voranzutreiben. Highlights waren unter anderem der Vortrag eines finnischen Schneemobil-Herstellers, ein 32-strahliger 100-Kilowatt-Laser aus Israel und ein österreichischer KI-Experte.

Zu Land, zu Wasser und in der Luft: Überall sei der E-Transport auf dem Vormarsch, verdeutlichte Prof. Arnold Gillner, Abteilungsleiter Business Development am Fraunhofer ILT, beim Lasersymposium Elektromobilität LSE im Januar in Aachen. Nun komme es darauf an, die bereits signifikant gesunkenen Batteriekosten von aktuell rund 100 US-Dollar pro Kilowattstunde noch weiter zu reduzieren. Dabei gewinne die ganzheitlich-nachhaltige Betrachtungsweise an Bedeutung, angefangen bei kobaltfreien Werkstoffen, klimaneutralen Fertigungsverfahren bis hin zum sogenannten Re-use.

Es ist nach den Worten von Gillner nicht nur wichtig, den Energieverbrauch bei der Fertigung von Batterien langfristig zu senken. *Wir müssen ihre Energiedichte durch neue Materialien erhöhen. Außerdem sollten wir, wo möglich, über Re-use nachdenken – etwa den Einsatz von ausgedienten Antriebsbatterien als stationäre Energiespeicher für den Heimbedarf.*

Cooler Inspiration vom Polarkreis: Batteriekonzept mit hoher Energiedichte

E-Mobilität in einer seiner vielleicht spannendsten Form präsentierte Matti Autioniemi, Geschäftsführer und Mitgründer des Startups Aurora Powertrains Oy aus dem finnischen Rovaniemi. Das 2017 gegründete Unterneh-



Für Prof. Arnold Gillner ist es nicht nur wichtig, den Energieverbrauch bei der Fertigung von Batterien langfristig zu senken, sondern auch ihre Energiedichte durch neue Materialien zu erhöhen
(© Fraunhofer ILT)

men produziert als einer der ersten Hersteller elektrische Schneemobile und ist der weltweit erste Anbieter von geführten Touren mit elektrischen Schlitten. Der eSled wiegt in der Version mit der größten Batteriekapazität 270 Kilogramm. Die maximale Reichweite beträgt je nach Batterie (Energiekapazität: 7 bis 21 Kilowattstunden) zwischen 40 und 100 Kilometer. Die arktischen Temperaturen dieser Region waren eine besondere Herausforderung, für die Aurora eine wasser- und staubdichte Batterie mit IP67-Klassifizierung

entwickelt hat. Die modular skalierbare Batterie verfügt über ein flexibles Ladesystem für Gleich- und Wechselspannung; zur Konditionierung der Batterie hat Aurora eigens ein innovatives Batteriemanagementsystem (BMS) inklusive einer integrierten Heizung konzipiert.

Die Entwickler konzentrierten sich bei dem Batteriekonzept auf eine möglichst hohe Energiedichte und erreichten mit mehr als 190 Wattstunden pro Kilogramm (Wh/kg) einen hervorragenden Wert. Das finnische Unternehmen setzt auf Lithiumionenbatterien als Pouch-Zellen mit 0,2 Millimeter dünnen elektrischen Kontakten. Die platzsparenden Pouch-Zellen sind leicht und werden direkt in anwendungsspezifischen Größen hergestellt. Da der Platz für den effizienten Einsatz von Ultraschallschweißgeräten nicht ausreichte und das Verfahren mehr vertikalen Raum benötigte, ließ sich Aurora vom Fraunhofer ILT ein maßgeschneidertes Laserschweißsystem entwickeln.

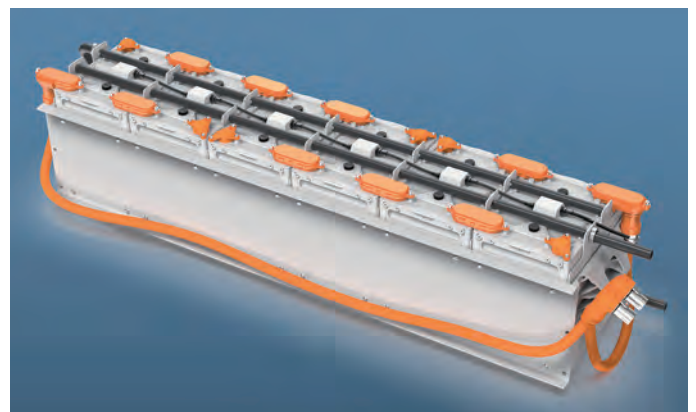
Vielseitige Einsatzmöglichkeiten dank Skalierbarkeit und Modulaufbau

Das neue Batteriekonzept ist nicht nur für Schneemobile geeignet: Aurora kann Größe und Spannungskonzept der beutelförmigen Batterien anpassen, zum Beispiel an den Einsatz in Elektrobooten, Arbeitsmaschinen oder

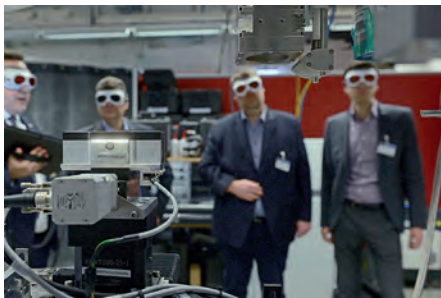


Aurora Powertrains stammt aus Lappland und ist der weltweit erste Anbieter von geführten Touren mit elektrischen Schneemobilen. Die Reichweite des eSled beträgt bis zu 100 Kilometer

(© Aurora Powertrains)



Aurora wird das Batteriekonzept des elektrischen Schneemobils gemeinsam mit dem Fraunhofer ILT auf der LASER World of Photonics 2023 präsentieren
(© Aurora Powertrains)



Das 5. LSE im Januar 2023 bot 50 Gästen eine Mischung aus internationalen Vorträgen aus Wissenschaft und Praxis, Networking und Laborbesuchen
(© Fraunhofer ILT)

Energiespeichern. Wegen der hohen Energiedichte und der IP67-Klassifizierung sind bereits mehrere Unternehmen an unserem Batteriekonzept interessiert, erklärte Matti Autionemi. Derzeit entwickelt das Unternehmen Konzepte für ein finnisches Elektrobootunternehmen und ein Geländewagenprojekt, dessen Batterie für 120 Kilowattstunden ausgelegt ist. Laut Autionemi lassen sich mit diesem Konzept Batterien selbst für größere Fahrzeuge oder sogar Lastwagen wirtschaftlich realisieren.

Diese Entwicklung zeigt: Das Anwendungsspektrum für Laser ist längst noch nicht ausgereizt. So berichtete Philippe Leopold, EMEA Sales Director beim Photonik- und Optikunternehmen Lumentum LLC aus York, Großbritannien, vom neuen PicoBlade3-Laser, der mit bis zu 180 Watt im Nahinfrarot- (NIR), Ultraviolett- (UV) sowie im Grün-Bereich arbeitet. Das FlexBurst-Verfahren fächert den Hauptstrahl in 20 ultrakurzgepulste Einzelstrahlen auf, mit denen sich Kathoden mit 2 m/s und hauchdünne Elektrolytfolien mit 20 m/s extrem schnell und präzise schneiden lassen.

32 Einzelstrahlen sollen das Schmelzbad bändigen

Wie sich ein Schmelzbad etwa beim Schweißen mit 32 digital geregelten Einzelstrahlen aus maximal 100 Kilowatt starken Laserquellen positiv beeinflussen lassen, schilderte Christian Dini, General Manager Europe der Civan Advanced Technologies Ltd. aus Jerusalem, Israel. Wenn sich damit sehr viel schneller, besser oder variabler schweißen lasse, sei es eine interessante Lösung, urteilte Dr. Alexander Olowinsky, Abteilungsleiter Fügen und Trennen am Fraunhofer ILT. Es werde sich zeigen, ob der Markt zu dem Mehraufwand bereit sei.

Weil Laserschweißen zahlreiche Vorteile bietet, beschäftigten sich viele Referenten mit

dieser Füge-technik. Thorsten Twiehaus, Wissenschaftler am Lehrstuhl und Institut für Schweißtechnik und Füge-technik (ISF) an der RWTH Aachen, berichtete von Erfahrungen mit dem Laserschweißen unter Vakuum, das sich bei Elektrolechen, Mischverbindungen und Hairpins bewährt hat. Für den Nürnberger Leistungselektronikhersteller Semikron International GmbH berichtete Dr. Armin Delbert über den Einsatz von grünem Laserlicht beim Schweißen von Innen- und Außenkontakten. Der Entwicklungsingenieur schätzt vor allem das größere Prozessfenster.

Trend bei den OEM: Pouch passé?

Die EAS Batteries GmbH aus Nordhausen hat gemeinsam mit dem Fraunhofer ILT eine neue Laserschweißanlage für das Fügen von großen zylindrischen Lithiumionenzellen für Hochleistungsanwendungen (40 bis 50 Amperestunden) entwickelt. Mit dieser Neuentwicklung reagiert das Unternehmen nach Aussage von Geschäftsführer Michael Deutmeyer auf einen Trend in der Automobilbranche, die sich wegen der höheren Gasdruckstabilität und Langlebigkeit zunehmend von der Pouch-Zelle zugunsten von Zellen mit massiver Außenhülle verabschiedet. Ebenfalls für zylindrische Energiespeicher entstand bei der F & K DELVOTEC Bondtechnik GmbH aus Ottobrunn eine Anlagentechnik, die mit Taktzeiten von 0,7 Sekunden arbeitet. Für das mit dem Fraunhofer ILT entwickelte Verfahren spricht laut Bond-Academy Leiter Dr. Hans-Georg von Ribbeck zudem, dass sich damit punktschweißen lasse. Mit dem Laserschweißen von Batterien, die sich mittels Thermomanagement ohne Überhitzung besonders schnell laden und entladen lassen, beschäftigt sich seit kurzem die Kautex Textron GmbH & Co. KG aus Bonn. Der Hersteller von Kunststofftanks entschied sich beispielsweise bei den Stromsammelschienen für ein vom Fraunhofer ILT erarbei-

tetes Verfahren zum Laserschweißen. Entwicklungsingenieur Frank Süßemilch erklärte, dass es zwar teurer als Drahtbonds sei, dafür aber präziser und schneller füge, gezielte Prozessregelung erlaube und sich wegen der niedrigen Taktzeiten für Großserieneinsatz eigne.

Effiziente Lasertrocknung ersetzt gasbetriebene Ofenanlage

Tatsächlich erobern Laser immer wieder neue Bereiche: Die Bandbreite reicht vom Oberflächenstrukturieren mit Ultrakurzpuls-Laser (Fraunhofer ILT), dem kompletten Entlacken von Hairpins (Clean-Lasersysteme GmbH, Herzogenrath), dem Entfernen von Kabelisolierungen (SLCR Lasertechnik GmbH, Düren) bis hin zu dem sehr aktuellen Thema Trocknen. Derzeit müssen die Pasten für Anoden und Kathoden in rund 100 Meter langen Konvektionsöfen trocknen, die bisher fast ausschließlich mit Erdgas beheizt werden.

Eine Alternative entsteht unter Führung der Laserline GmbH aus Mülheim-Kärlich im Forschungsprojekt IDEEL (Implementation of Laser Drying Processes for Economical & Ecological Lithium Ion Battery Production). Bei Versuchen am Fraunhofer ILT gelang es erstmals, die Elektrodenpaste auf Anoden und Kathoden im Rolle-zu-Rolle-Verfahren mit dem Laser zu trocknen. Laserline-Manager Mathias Schlett stellte auf dem LSE'23 einen leistungsstarken Infrarot-Diodenlaser mit 45 Kilowatt Leistung vor, mit dem sich der Energieverbrauch extrem senken lassen soll. Experten rechnen mit einer Ersparnis von 50 bis 85 Prozent. Gleichzeitig lässt sich mit den Lasern das Trockentempo verdoppeln und eine deutlich kleinere Anlagentechnik umsetzen – die Projektteilnehmer planen eine Bandgeschwindigkeit von 30 Metern pro Minute.

Wichtig ist bei allen Laserprozessen ein besseres Verständnis der Vorgänge, etwa im Schmelzbad. Gehring Technologies überwacht das Laserschweißen von Hairpins zum Beispiel mit Röntgenstrahlung, Semikron hingegen prüft die Laserschweißstellen in der Leistungselektronik mit Ultraschallmikroskopie. Andere setzen auf aufwendigere Verfahren wie optische Kohärenztomographie (OCT). Christoph Spurk vom Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University nimmt sogar zweimal pro Jahr die Reise zum Synchrotron am Forschungszentrum DESY in Hamburg in Kauf, um Laserprozesse besser zu verstehen.

Das Beobachten der Prozesse sei immens wichtig, meint auch LSE-Mitinitiator Olowinsky



Das geplante Battery Launch Center NRW (BLC.nrw) ergänzt laut Dr. Alexander Olowinsky die bereits bestehende FFB-Einrichtung sehr gut
(© Fraunhofer ILT)

ky, gibt aber zu bedenken: *Alle beobachten den Prozess, aber nur wenige regeln ihn – und wenn, dann häufig von Prozess zu Prozess.* Multisensoranwendungen seien aktuell angesagt, um an vielen Stellen Messsignale zu erhalten. Olowinsky ist sich allerdings sicher, dass das Messverfahren zweitrangig sei. Es komme auf die intelligente Auswertung der Daten an.

Big Data-Analyse mit Hilfe von KI, Endauswertung per Human Intelligence

Ein wesentliches Problem aller Messverfahren sprach auch Thomas Grünberger an, Strategic Technology Developer bei der Wiener nLIGHT GmbH: Es entstünden oft extrem viele Daten, die ausgewertet und bewertet werden müssten. Grünberger empfahl in seinem Vortrag, Big Data, also große Datenmengen mit Hilfe von Machine Learning zu analysieren. Dabei sollten Anwender darauf achten, dass bei instabilen, unkontrollierten Prozessen wie dem Schmelzbad ausschließlich instabile Messdaten entstehen. Daher sollte die endgültige Bewertung stets Human Intelligence übernehmen, sprich der Mensch.



Dr. André Häusler stellte das geplante Battery Launch Center NRW vor, das bereits Partner wie Kuka, LBBZ oder die RWTH Aachen University als Unterstützer gewinnen konnte
(© Fraunhofer ILT)

Das Fraunhofer ILT sorgte als LSE-Veranstalter nicht nur für viel Input rund um Fragen der Elektromobilität, sondern bot vor allem kleinen und mittleren Unternehmen entscheidende Mehrwerte. Dr. André Häusler etwa, Gruppenleiter für Fügen von Metallen am Fraunhofer ILT, präsentierte das geplante Battery Launch Center NRW (BLC.nrw), das

bereits von Partnern wie Kuka, LBBZ oder die RWTH Aachen University unterstützt wird. Den Unterschied zur bereits bestehenden Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batterie zelle (FFB) in Münster erläuterte Olowinsky: Beide Institutionen ergänzten sich sehr gut, denn Münster erforsche die Verfahrensfragen zur Batterie zellenproduktion; das BLC.nrw entwickle die Anlagentechnik und das dazu nötige Know-how, um aus den Zellen ein komplettes Batteriesystem herzustellen. Häusler warb um Unterstützung für das BLC.nrw in Geilenkirchen bei Aachen, das in Kürze in Betrieb gehen soll: *Wir suchen Firmen, die Equipment für die Fertigung von Batteriesystemen anbieten, und potenzielle Nutzer der Einrichtung. Wer uns also Anlagentechnik zur Verfügung stellen kann oder Produktions- oder Entwicklungs-Kapazität braucht, soll sich an uns wenden.*

Kontakt:

Dr.-Ing. Alexander Olowinsky, Abteilungsleitung Fügen und Trennen, E-Mail: alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

➔ www.ilt.fraunhofer.de

≡ Atomlagenabscheidung in ihrer ganzen Breite – von den Grundlagen bis zur Anwendung

Umfangreiches Vortragsprogramm mit Industrieausstellung bei der internationalen Konferenz ALD FOR INDUSTRY 2023 am 21. und 22. März in Dresden

ALD – Atomic Layer Deposition – ist ein spezielles Beschichtungsverfahren, das die Herstellung von defektfreien und konformen, dünnen Schichten auch auf sehr komplexen 3D-Strukturen erlaubt. Die internationale Tagung, organisiert von der Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. (EFDS), informierte über die Atomlagenabscheidung in ihrer ganzen Breite. Die englischsprachige Konferenz sieht sich als Brücke zwischen Grundlagenwissenschaft, Industrialisierung und Kommerzialisierung dieser Technologie. Die Veranstaltung bot die Möglichkeit, Kontakte unter Wissenschaftlern zu knüpfen und mit industriellen Partnern in Kontakt zu treten. Zahlreiche Besucher und Besucherinnen nutzten die Chance, sich über die aktuellen Trends und die Grundlagen von ALD zu informieren. Die Industrieausstellung rundete das hervorragende Vortragsprogramm ab.

1 Einführung in die Grundlagen von ALD

Zu Beginn der Tagung wurde in Tutorials einiges über die Grundlagen und die potenzielle Anwendung der ALD-Technologie berichtet. Den Anfang machte David Zanders von der Ruhruniversität Bochum. Er berichtete über die verschiedenen Möglichkeiten der Precursor-Chemie und spannte dabei den Bogen von den Grundlagen zur industriellen An-

wendung. Dabei ging er auf drei Beispiele ein und erklärte sehr verständlich, aber doch mit großem wissenschaftlichem Tiefgang, die unterschiedlichen Herangehensweisen auf Chemie-Ebene zur Abscheidung von ALD-Schichten.

Martin Knaut von der Technischen Universität Dresden brachte dem Publikum auf sehr eingängige Weise die Grundlagen der ALD-Schichtabscheidung nahe. Gekonnt er-

klärte er den prinzipiellen Unterschied zur chemischen Gasphasenabscheidung und arbeitete die charakteristischen Merkmale einer ALD-Beschichtung heraus. Nach diesem Tutorial sah sich der Zuhörer prinzipiell in der Lage, über Variation einiger Anlagenparameter, wie zum Beispiel Precursordosis, Spülzeit und Temperatur, einen ALD-Prozess zu entwickeln. Auch auf die benötigten Technologien zum Prozessmonitoring wie Quartz Crystal

WERKSTOFFE

Microbalances (QCM) oder Spectroscopic Ellipsometry (SE) wurde detailliert eingegangen. Danilo De Simone vom Institut imec in Leuven erläuterte die Grundlagen der aktuellen EUV-Lithografie. In diesem Tutorial wurde klar, dass ohne ALD die aktuellen Halbleiterstrukturen im Bereich weniger Nanometer nicht produziert werden könnten und es wurde auch klar, dass dieses industrielle Segment momentan einen Großteil des Markts für ALD darstellt.

Im vierten Tutorial-Vortrag ging Uwe Schröder von der NaMLab gGmbH sehr detailliert auf die ALD-Herstellung von Hafniumoxid-/Zirkoniumdioxid-Ferroelektrika ein. Diese Schichten spielen eine große Rolle bei modernen Sensoren und Transistoren.

Tamar Segal-Peretz von der Abteilung für Chemieingenieurwesen Technion, Israelisches Institut für Technologie, präsentierte im fünften und letzten Tutorial interessante Aspekte von Hybridmaterialien, die in Polymeren mit an ALD-Technologien angelehnten Verfahren hergestellt werden können. Es handelt sich um das sogenannte SIS (Sequential Infiltration Synthesis), bei dem sequenziell metallorganische Moleküle in Polymerstrukturen eindiffundieren und dort an die Polymer-Ketten andocken. Im Prinzip findet hier ein molekularer Austausch statt. Über verschiedene Ausgangsstrukturen können neuartige Nanostrukturen (Poren, Nanodrähte usw.) hergestellt werden.

2 Workshops mit Fachvorträgen

Im weiteren Verlauf der Konferenz standen Fachvorträge im Rahmen von Workshops auf dem Programm. Jonas Sundqvist, AlixLabs AB und TECHCET LLC CA, begann diesen Teil mit einer Marktübersicht und Trends in Atomic Layer Deposition (ALD) und Atomic Layer Etching (ALE) in der Halbleiterindustrie. Mit über 20 Jahren Arbeitserfahrung bei Infineon, Qimonda, Fraunhofer und Lund NanoLab konnte er mit fundierten Zahlen für die Zukunft der beiden Technologien aufwarten. Simon Elliot vom Unternehmen Schrödinger aus New York stellte eine Simulation-Software für die Abscheidung von ALD-Schichten auf diversen Substratmaterialien vor. Manche der Modelle-Vorhersagen müssten aber noch statistisch abgesichert validiert werden. Im Anschluss berichtete Lukas Mai von Merck Electronics KGaA aus Darmstadt über die Entwicklung von Precursoren für die Halbleiterindustrie. Als ein Beispiel wurde die Abscheidung von sauerstofffreiem Ruthenium detailliert beschrieben. Ruthenium ist ein

vielversprechendes Metall mit niedrigem Widerstand als Auskleidungs- oder Füllmaterial für zukünftige Halbleitersysteme.

Stephan Wege von der plasway-Technologies GmbH stellte sein Konzept für eine kombinierte Anlage zu ALE und PEALD (Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition) in einer Kammer vor. Er berichtete von herausragenden Homogenitätswerten.

Da keine Prozessentwicklung ohne Analytik auskommen kann, passte der Vortrag von Florian Meyer hervorragend. Er stellte Systeme zur In-situ-Gasüberwachung von ALD-Prozessen mittels optischer Remote-Emissionsspektroskopie der Gencoa vor. Am Beispiel der Abscheidung von Aluminiumoxid zeigte er, dass der gesamte ALD-Prozess (mit den Precursoren TMA und H_2O) mit dem Sensor überwacht werden kann. Die Sättigung der Reaktion kann bestätigt und die Reaktionsdynamik überwacht werden. Damit ist es möglich, den Prozess in Echtzeit zu optimieren und ohne Qualitätsverlust zu beschleunigen.

Christoph Hossbach von picosun aus Dresden wies zu Beginn darauf hin, dass CoO in seinem Vortragstitel nicht Kobaltoxid bedeutet, sondern Cost of Ownership. Er berichtete nicht von speziellen Prozessentwicklungen, sondern wie und mit welcher Anlagenkonfiguration ein optimaler Durchsatz zur Waferbehandlung erreicht werden kann. Ein Mittel, um den Durchsatz zu erhöhen und die Betriebskosten zu senken, ist, mehrere Wafer in der gleichen Kammer zu verarbeiten, also eine Batchlösung zu nutzen. Der erste Ansatz ist eine Diffusionskontrolle, die am besten für Wafer mit einer Größe von 200 mm oder weniger geeignet ist. Der zweite Ansatz ist ein laminarer Fluss, hohe Geschwindigkeit und große Kontrolle der Ausgangsstoffe, der für Anwendungen auf 300-mm-Substraten optimiert ist.

Als Kontrast zu den vorhergehenden Vorträgen war die Präsentation der Plasma Electronic GmbH aus Neuenburg am Rhein zu wertvoll. Die meisten Anlagenhersteller hatten sich auf die ALD-Abscheidung auf Wafer fokussiert. Vivek Beladiya berichtete in seinem Vortrag von Niedertemperaturabscheidung über Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition (PEALD). Anwendungen sind Barrierschichten auf Lebensmittelverpackungen oder kleinteiligen Solarzellen. Das Unternehmen Plasma Electronic bietet hierzu mittlerweile große Batchanlagen an, die über zwei Schleusen einen Inlineprozess ermöglichen können.

Noureddine Adjerooud vom Luxembourg Institute of Science and Technology berichtete über das Thema Gruppe III-Nitrid-Halbleiter-Materialien, die bei Niedertemperatur durch plasmagestützte Atomlagenabscheidung hergestellt wurden. Die plasmagestützte Atomlagenabscheidung (PEALD) entwickelt sich zu einer vertrauenswürdigen Alternative zu den Standard-CVD-Beschichtungsverfahren und scheint eine Lösung zu sein, um hohe Temperaturen beim Aufwachsen von Nitridschichten zu verhindern und damit die darunterliegenden CMOS-Schaltkreise nicht zu zerstören.

Thematisch passend schloss sich der Vortrag von Michael Powell von Oxford Instruments an. Er referierte über Remote Plasma ALD und ALE für GaN-Leistungselektronik. Die aktuellen Anforderungen an die Halbleiterverarbeitung erfordern kleinere Merkmale, dünnere und hochwertigere Materialien und eine verbesserte Leistung über ganze Wafer von Bauelementen. Dies hat eine Entwicklung hin zu Verarbeitungstechniken auf atomarer Ebene zur Folge. Außerdem haben die meisten Chips oder Bauteile ein Wärmebudget, das die maximalen Verarbeitungstemperaturen begrenzt. Der Referent berichtete, wie Remote-Plasma Bedingungen für geringe thermische Schäden gewährleistet und gleichzeitig qualitativ hochwertige Ergebnisse für die Elektronik der nächsten Generation liefern kann.

Das Thema Supraleitung wurde von Jakob Zessin, Sentech Instruments GmbH, in seinem Vortrag angeschnitten. Er berichtete über die Abscheidung von Niob-Nitrid unter Einsatz der ALD-Technologie. Hierbei wurde eine kritische Temperatur von 9,6 K erreicht.

Henry Bernhardt von der Infineon Technologies AG in Dresden stellte eine neue Messmethode zur Qualitätssicherung von Halbleitern vor: Corona Oxide Characterization of Semiconductor (COCOS). Diese Methode ist kontaktlos und nicht zerstörend. Mit ihr können die elektrischen Eigenschaften von dielektrischen Schichten bestimmt werden. Als Beispiel nannte er Messungen an Siliziumoxidschichten, die mit verschiedenen Precursoren hergestellt worden waren.

ALD-Prozesse laufen normalerweise mit thermischer Energiezufuhr oder durch Plasmaunterstützung bei moderater Temperaturzuführung ab. Yuanhe Cui von der Universität Dresden stellte mit Flash Lamp Enabled Atomic Layer Deposition eine neue Methode vor, die Photonen zur Energieübertragung nutzt. Um Einschränkungen von her-

kömmlichen ALD-Prozessen zu überwinden, wurde dieses neuartige Verfahren zur Atomlagenabscheidung unter Verwendung von Blitzlampen (FLE-ALD) entwickelt. Der Ansatz kombiniert die selbstlimierende Chemisorption von Vorläufermolekülen im ersten Halbzyklus mit einem Millisekunden-Blitzlampen-Annealing während des zweiten Halbzyklus. Am Beispiel von Titandioxid konnte gezeigt werden, dass die ALD-Charakteristik mit selbstbegrenzender Oberflächensättigung und konstantem Wachstum pro Zyklus gegeben ist.

Den Weg von planaren zu dreidimensionalen Objekten für die ALD-Beschichtung beschrieb Sebastian Lehmann vom Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung in Dresden. Die Gruppe verfügt über Anlagen zur ALD-Beschichtung von Granulaten oder Pulvern. Verschiedene Anwendungen auf komplexen Geometrien wurden vorgestellt. Dazu zählten zum Beispiel thermoelektrische Materialien, aktive Batteriekomponenten, Schutzschichten, biokompatible Dünnschichten sowie multifunktionale und flammhemmende Textilien. Mathias Franz vom Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme ENAS berichtete über die Abscheidung von metallischem Kobalt über einen ALD-Prozess, bei dem ein Precursor basierend auf Dicobalt-Hexacarbonyl-Alkin und Wasserstoffplasma-Pulse verwendet wird. Über X-ray photoelectron spectroscopy konnte die metallische Phase nachgewiesen werden.

Einen besonderen Fokus legte Ganesh Sundaram als Vizepräsident für angewandte Technologien bei Veeco Instruments. Er berichtete über die Kombination von ALD mit Molekularstrahl-Epitaxie (MBE). Diese Kombination ist hilfreich zum Beispiel für die Bearbeitung von Bauteilen im Bereich Quantencomputer oder zur Herstellung von Schichten aus Siliziumcarbid.

Als Ergänzung zum Tutorial von Tamar Segal-Peretz berichtete Gabriele Seguini vom Institut für Mikroelektronik und Mikrosysteme IMM-CNR aus Italien in seinem Workshop-Vortrag über weitere Applikationen von Sequential Infiltration Synthesis (SIS). Unter Verwendung von Block-Copolymeren (BCPs) konnte er zeigen, dass mit SIS verschiedene morphologische Nanostrukturen mit unterschiedlicher Orientierung im Raum geschaffen werden können. Mit der Technologie lassen sich unterschiedlich gestaltete Streifen, Zylinder und Ringe in verschiedenen Raumrichtungen herstellen. Er beschrieb ausführlich die zugrunde liegenden Gesetze zum Wachstum dieser Strukturen.

Den aktuellen Markt für großvolumige ALD-Anlagen in der Fotovoltaikindustrie beleuchtete Wei-Min Li von der Jiangsu Leadmicro Nano Technology Co. Ltd. Die ALD-Technologie erlaubte hier die Herstellung von neuartigen n-TOPCon-Solarzellen. TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact) basiert auf einem ultradünnen Tunneloxid in Kombination mit einer dünnen Siliziumschicht und erlaubt eine exzellente Ladungsträgerselektivität. Die von Wei-Min Li vorgestellten ALD-aktivierten n-TOPCon-Solarzellen haben in der Produktion einen Wirkungsgrad von über 24,5 Prozent erreicht. Durch kontinuierliche Verbesserung der Materialien und der Prozessintegration wird eine weitere Erhöhung der Effizienz von Solarzellen durch ALD-Technologie zu erwarten sein.

Aus Finnland, dem (quasi) *Ursprungsland* der ALD-Technologie, berichtete Marianna Kemell von der Universität Helsinki mit ihrem Vortrag über ALD für Halogenid-Perowskit-Solarzellen ebenfalls zum Themengebiet Solarzellen. In ihrer Arbeitsgruppe werden spezielle Prozesse zur Abscheidung von Perowskitschichten, zum Beispiel auf Basis von Bleichlorid (PbCl_2) oder Bleibromid (PbBr_2), entwickelt. Diese Prozesse gab es bislang noch nicht. Mit diesen Schichten lassen sich hocheffektive Solarzellen mit einem Wirkungsgrad von bis zu

25,5 Prozent herstellen. Der besondere Vorteil liegt auch darin, dass die Ausgangsmaterialien umfangreich vorliegen und damit nicht kostenintensiv sind.

Im Anschluss an die Vorträge auf dem Gebiet der Fotovoltaik widmete sich Nicolas Blasco von Air Liquide Advanced Materials der Entwicklung spezieller Korrosionsschutzschichten mit ALD. In seiner Studie veranschaulichte er, wie die Anpassung der ALD-Vorstufen bestehende Prozesse zur ALD-Abscheidung von Yttriumoxid (Y_2O_3) verbessern kann und neue Wege möglich macht. Als Beispiel zeigte er einen industriell skalierbaren ALD-Prozess zur Abscheidung von Yttriumfluorid (YF_3) ohne Einsatz von Hydrogenfluorid (HF) sowie dessen Verwendung als ätzfeste Beschichtung.

Adriana Szeghalmi vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena befasst sich mit Metall-Dielektrika-Heterostrukturen und deren Herstellung bis hinunter in den atomaren Bereich durch die Nutzung von ALD. In ihrer Arbeitsgruppe beschäftigt sie sich mit der ALD-Beschichtung von komplexen Geometrien, insbesondere für optische Komponenten.

Giuliana Impellizzeri vom Italian National Research Council (CNR), Institute for Microelectronics and Microsystems (IMM), zeigte, dass mit Niedertemperatur-ALD fotokatalytische Nanokompositschichten hergestellt werden können. Diese kommen zum Einsatz bei der Wasseraufbereitung. Die Halbleiter wurden auf Polymere durch Atomlagenabscheidung (ALD) aufgebracht. Diese Methode bietet einzigartige Vorteile: niedrige Abscheidungstemperatur, Homogenität, Konformität und Skalierbarkeit. Die Verbundwerkstoffe wurden eingehend charakterisiert und ihre bemerkenswerten photokatalytischen Fähigkeiten durch den Abbau von verschiedenen organischen Wasserschadstoffen bewertet. Auch die antibakterielle Leistung wurde für ausgewählten Proben untersucht. Das ALD-Verfahren erwies sich somit als vielversprechende Technik für die Herstellung von photokatalytischen Nanokompositen.

3 Fazit

Die sehr interessante Vortragsreihe an den beiden Konferenztagen wurde durch Industriepäsentationen aufgelockert. Insbesondere die Industrieausstellung im gleichen Raum lud zu einem intensiven Austausch und Kontaktaufnahmen ein. Die Konferenz kann als sehr gelungen bezeichnet werden. Über 100 Teilnehmer und Teilnehmerinnen zeigten, dass es sich bei der ALD-Technologie um ein wichtiges Thema in der aktuellen Forschung und Entwicklung zu innovativen Nanoschichten handelt.

V. Bucher



SERFILCO®
Pumpen & Filter
chemiebeständig · robust · langlebig

Der starke Partner für Industrie & Anlagenbau!

- Pumpen & Filtersysteme für die Prozessstufen: Reinigung, Entfettung, Phosphatierung, Passivierung u. galvanische Beschichtungen (Metall & Kunststoff)
- Pumpen für Eloxal-/Harteloxalverfahren
- Filtersysteme f. Elektrolyte-, Beize-, Spül- und Versiegelungsbäder
- SerDuctor®-Düsensystem zur Badbewegung ohne Luft
- Badheizer und Wärmetauscher

Aufbruch in die dritte Dimension

Lassen sich auch anspruchsvolle Metallbauteile in Serie produktiv und reproduzierbar 3D-drucken? Forschende aus Aachen bejahen diese Frage: Sie transferierten am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT das zweidimensionale Extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen EHLA auf eine modifizierte 5-Achs-CNC-Anlage für die additive Fertigung von komplexen Bauteilen. Mit Erweiterung des EHLA-Verfahrens auf die dritte Dimension lassen sich unter anderem schwer schweißbare Werkstoffe wie Werkzeugstähle, Titan, Aluminium und Nickelbasislegierungen 3D-drucken.

Jahrzehntelang dominierten zwei Laserverfahren beim Drucken und Beschichten von Metallbauteilen. Die dominierende Technologie beim direkten industriellen, metallischen 3D-Druck ist das vor 26 Jahren patentierte laserbasierte Pulverbettverfahren (Laser Powder Bed Fusion LPBF) des Fraunhofer ILT. Die Laserstrahlung schmilzt hier einen kleinen Teil des Basismaterials auf und wandelt das Pulver in eine schmelzmetallurgisch haftende Schicht um. So wächst aus dem Pulverbett Schicht um Schicht ein 3D-Bauteil.

Als effiziente Oberflächentechnik hat sich zudem das Laserauftragschweißen (Laser Material Deposition LMD) bewährt. Bei diesem Verfahren bildet sich auf der Bauteiloberfläche ein Schmelzbad, in das der Zusatzwerkstoff zum Beispiel per Draht oder Pulver kontinuierlich eingebracht und aufgeschmolzen wird. Sowohl das Substrat als auch der Zusatzwerkstoff werden aufgeschmolzen und es kommt zur schmelzmetallurgischen Anbindung zwischen Schicht und Trägerbauteil.

Rettung von teuren Bauteilen

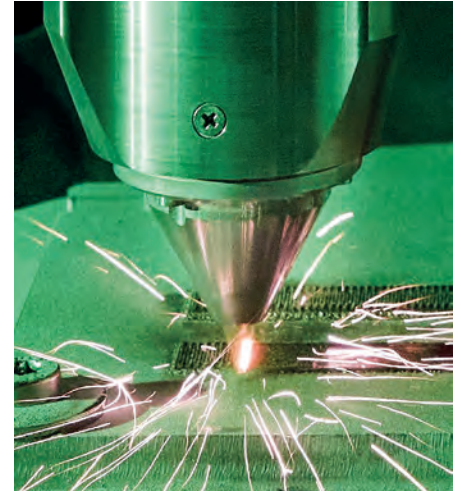
Das wirtschaftliche Potenzial des LMD steckt zum einen in der Möglichkeit, Basiskomponenten mit einer Funktionsschicht aufzuwerten oder lokale, additive Bauteilmodifikationen vorzunehmen. Zum anderen ist das Reparaturschweißen, also das Retten teurer Komponenten, beispielsweise aus dem Bereich Luft- und Raumfahrttechnik oder Werkzeugbau, ein weiterer wichtiger Anwendungs-

bereich des LMD. Verschlissene oder defekte Komponenten sind nach einer lokalen Reparaturschweißung mittels LMD wieder voll funktionstüchtig und müssen nicht mehr verschrottet werden.

LMD und LPBF sind mittlerweile aufgrund der verfahrensspezifischen Vorteile unverzichtbar für die metallbasierte additive Fertigung: LMD überzeugt mit einer hohen Produktivität, während LPBF sich für den 3D-Druck von äußerst filigranen und komplexen Bauteilen einsetzen lässt. Völlig neue Wege gingen das Fraunhofer ILT und der Lehrstuhl für Digital Additive Production DAP der RWTH Aachen University im Jahr 2012 bei der Entwicklung des Extremen Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißens EHLA. Bei dem patentierten Verfahren schmilzt ein Laser die Pulverpartikel bereits oberhalb des Schmelzbades auf. Auf diese Weise ließ sich die Prozessgeschwindigkeit von bisher 0,5 bis 2,0 (LMD) auf bis zu 200 m/min steigern und die Schichtdicke von 500 µm auf bis zu 10 µm senken. Pro Stunde lassen sich nun bis zu fünf Quadratmeter beschichten. Zudem wurden die Schichten glatter, die Rauheit wurde auf ein Zehntel des typischen Werts beim Laserauftragschweißen reduziert.

Internationale Erfolge beim schnellen Beschichten

Die Erfindung kam an: So integrierte Hordnet Laser Cladding B. V. aus Lexmond in den Niederlanden in seine Drehmaschinen Laserstrahlquelle, EHLA-Bearbeitungskopf und Pulverzufuhrsystem für den industriellen Einsatz des EHLA-Verfahrens. Auch die TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH aus Ditzingen nahm das Verfahren in das Angebotsportfolio auf und bietet Laseranlagen und -systemtechniken für den EHLA-Prozess an. Der Durchbruch gelang 2015 im Offshore-Bereich: Seitdem wurden viele Hydraulikzylinder für den weltweiten Einsatz in maritimen Umgebungen mit verschleiß- und korrosionsbeständigen Legierungen beschichtet. Nach weiteren Erfolgen beim schnellen und prozesssicheren Beschichten von Brems-



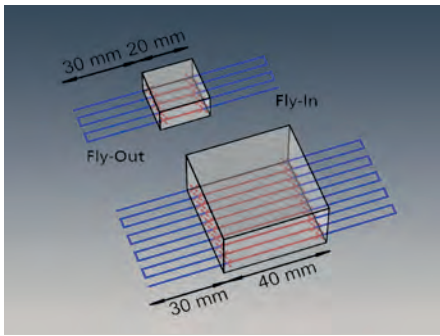
Die für das EHLA-Verfahren modifizierte CNC-Maschine kann schnelle, hochdynamische und präzise Werkzeugbewegungen in lateraler Richtung verfahren und eignet sich mit einem Dreh- und Kipptisch für die additive Fertigung sowie die Beschichtung von Freiformoberflächen
(© Fraunhofer ILT, Aachen)

scheiben, Kolben, Zylindern und Lagern erfolgte im Jahr 2019 der Schritt in die dritte Dimension: An der Weiterentwicklung beteiligte sich Jonathan Schaible, damaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ILT, im Rahmen seiner Promotion, in der er sich mit der Frage beschäftigte, welche speziellen Anforderungen für Maschinen- und Systemtechnik zu erfüllen sind, um EHLA mit dem Highspeed-3D-Druck zu kombinieren. Parallel setzte sein Nachfolger, Min-Uh Ko, die prozesstechnischen Untersuchungen an einer speziell modifizierten 5-Achs-CNC-Anlage fort, die höchste Präzision und hohe Vorschubgeschwindigkeiten für die additive Fertigung, Freiformbeschichtung und Bauteilreparatur mittels EHLA vereint.

EHLA 3D kombiniert nach Aussage von Min-Uh Ko, Gruppenleiter Additive Fertigung und Reparatur LMD am Fraunhofer-ILT, die Produktivität von LMD mit ihren 500 µm bis 2000 µm dicken Schichten mit dem strukturell gezielten, präzisen Aufbau von LPBF mit 30 µm bis 100 µm dicken Schichten. EHLA



Schnell und präzise: Additiven Fertigung eines Formbauteils mittels EHLA 3D mit deutlich verkürzter Druckzeit im Vergleich zu LMD und LPBF
(© Fraunhofer ILT, Aachen)



Hohe Dynamik: Die Produktivität steht und fällt bei EHLA 3D mit dem Zusammenspiel von Fly-in und Fly-out (© Fraunhofer ILT, Aachen)

3D bewege sich hier mit 50 μm bis 300 μm im Mittelfeld, sagt Ko.

Nahe an der Endkontur

Für das Verfahren sprechen außerdem die geringe Aufmischungszone sowie die hohe Abkühlgeschwindigkeit. Dank dieser Eigenschaften lassen sich auch Bauteile aus schwer schweißbaren Werkstoffen und Multimaterialpaarungen additiv herstellen. Seine Stärken spielt das Verfahren im echten 3D-Druck aus. Mit EHLA 3D lassen sich Ko zufolge produktiv Bauteile herstellen, die schon sehr nah an die Endkontur kommen. Außer dem sogenannten near-net-shaping ermögliche das Verfahren auch den schnellen und präzisen Aufbau sowie Beschichtungen von Freiformoberflächen. Anspruchsvolle Formen in Rekordzeit – das gelingt nur mit entsprechend ausgelegter Maschinenteknik und angepasster Bahnplanung der CNC-Programme. Die Produktivität steht und fällt hier mit dem Zusammenspiel des sogenannten Fly-in, bei dem der Laserkopf mit eingeschaltetem Laserstrahl zum Einsatzort fliegt, mit dem anschließenden Fly-out, dem abgebremsten Her-

ausfliegen aus der Bearbeitungszone. Der Wirkungsgrad ergibt sich aus dem Verhältnis von Bearbeitungszeit mit eingeschaltetem Laserstrahl zur gesamten Prozesszeit. Schaibles Untersuchungen belegen: Bei einer Beschleunigung von 50 m/s^2 und einem Vorschub von 50 m/min für eine Strecke von 100 mm beträgt der Wirkungsgrad M-PDE (Machine-Related Powder Deposition Efficiency) rund 80 Prozent. Bei einer Beschleunigung von 10 m/s^2 beträgt der M-PDE circa 40 Prozent.

Der Aufwand für die Weiterentwicklung des EHLA-Verfahrens hat sich gelohnt, wie ein Blick auf erste erfolgreiche Demonstrationen bewies. Auf dem AKL'22 – International Laser Technology Congress in Aachen zeigte Wissenschaftler Ko bei seinem Vortrag im Frühjahr 2022 die aktuellen Fortschritte der EHLA 3D-Technologie. So wurde in einem Video die produktive, additive Fertigung eines Formbauteils demonstriert, dessen Druckzeit um einen Faktor 2 im Vergleich zum LMD verkürzt werden konnte. Weitere Vorteile ergeben sich darüber hinaus durch die Verringerung des Aufwands für die Fertigbearbeitung.

Zuverlässiger 3D-Metalldruck mit gebrauchtem Pulver

Hohe Wirkungsgrade zeichnet auch den 3D-Druck von Bauteilen aus dem Aerospace-Werkstoff Inconel 718 aus, die mit einer Auftragsrate von mehr als 2 kg/h mit einer Dichte von über 99,5 Prozent entstanden. Spannenderweise untersuchten die Aachener außerdem, wie sich die Kennwerte verändern, wenn sie statt mit neuem mit recyceltem Metallpulver arbeiten. In beiden Fällen betrug die Zugfestigkeit R_m rund 1300 MPa . Die Zugfestigkeit fiel in beiden Fällen genauso gut wie beim Guss aus, sagt Ko. Gute Ergebnisse erzielte



Wie Min-Uh Ko erklärt, kombiniert EHLA 3D die Produktivität von LMD mit ihren 500 μm bis 2000 μm dicken Schichten mit dem strukturell gezielten, präzisen Aufbau von LPBF mit 30 μm bis 100 μm dicken Schichten

(© Fraunhofer ILT, Aachen)

auch Wissenschaftler Schaible, der sich unter anderem mit der EHLA 3D-Prozessentwicklung von Bauteilen aus Edelstahl 316L und Aluminium-Silizium-Legierungen befasste. Auch hier entsprechen die erzielten mechanischen Eigenschaften denen, die in der Literatur für konventionell hergestellte Proben angegeben sind. Die aktuell mögliche strukturelle Auflösung von dünnwandigen Aluminiumbauteilen, die mittels EHLA 3D hergestellt werden, beträgt dabei rund 500 μm . Bei der am Fraunhofer ILT befindlichen CNC-Anlage handelt es sich um einen speziell angepassten Prototyp, der zuverlässig, präzise und gleichzeitig hochdynamische Werkzeugbewegungen ausführen kann. Ko lädt Interessierte ein, etwas genauer hinzuschauen; bei Interesse an der Anlagentechnik oder weiteren möglichen Anwendungsfällen des EHLA 3D-Verfahrens steht er am Fraunhofer ILT gerne zur Verfügung.

Kontakt:

Min-Uh Ko M. Sc., E-Mail: min-uh.ko@ilt.fraunhofer.de

➔ www.ilt.fraunhofer.de

Digitalisierung und Vernetzung von Labor, Produktion, Lager u.v.m. – Galvanik 4.1



BAG
SMART ANALYTICS



9. bis 12. Mai Stuttgart
Wir sind dabei!
Halle 7 | Stand 7309-11

erfahren Sie
mehr auf unserer
Website



Fahrzeugleichtbaustrukturen mit integrierten Elektronikkomponenten für Elektro-Autos

Zusammen mit elf weiteren Partnern erforscht das Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in dem interdisziplinär ausgerichteten Projekt *InThElekt* die Fertigung innovativer Fahrzeugleichtbaustrukturen mit integrierten Elektronikkomponenten für E-Autos. Mittels thermoplastischer Sandwich-Faserverbundtechnologie und innovativer Entwärmungskonzepte auf Basis neuartiger Vergussmaterialien sollen Gewicht und Verbrauch gesenkt sowie gleichzeitig Funktionen integriert und die Bauteilzuverlässigkeit erhöht werden.

Genauso wie bei einem Verbrennerfahrzeug, spielen auch beim E-Auto Gewicht und Verbrauch für die Fahrleistung eine wesentliche Rolle. Fahrzeugstrukturbauteile in thermoplastischer Sandwich-FVK-Leichtbauweise können für ein möglichst geringes Fahrzeuggewicht und damit einen reduzierten Energieverbrauch beziehungsweise eine höhere Reichweite sorgen. Das Design solcher polymerer Leichtbaustrukturen ist jedoch eine Herausforderung für die angebundenen Elektronikkomponenten. Denn die in thermoplastischer Sandwich-FVK-Technologie hergestellten Tragstrukturen weisen eine geringere thermische Leitfähigkeit auf als herkömmliche metallische Tragstrukturen, welche die durch Elektronik erzeugte Wärme gut ableiten können. Da sich dies auch negativ auf die Zuverlässigkeit der Elektronik auswirken könnte, müssen Konzepte gefunden werden, um die Elektronikkomponenten zu entwärmen und die thermische Leitfähigkeit zu optimieren.

In einem interdisziplinären Verbundvorhaben forschen zwölf Partner, darunter das Fraunhofer IMWS, an einer effizienten Technologie zur großserientauglichen Fertigung von integralen Fahrzeugstrukturbauteilen auf Basis thermoplastischer Faserverbundkunststoffe mit angepassten Elektronikkomponenten. Der Schwerpunkt liegt auf dem Zusammenspiel von innovativer Kunststoff-Leichtbautechnologie und neuartigen Technologien zur Integration von elektronischen Bauteilen in

zukünftigen Elektrofahrzeugen. Im Rahmen dieses ganzheitlichen Projekts sollen neuartige Elektronik-Vergussmaterialien, Thermomanagement- und Schnittstellenkonzepte erforscht werden. Abschließend werden die Forschungsergebnisse anhand einer ausgewählten Baugruppe der Volkswagen AG angewendet und demonstriert.

Übergreifendes Ziel des Projekts ist eine signifikante Reduktion des Global Warming Potentials anhand der verwendeten Materialien, Technologien und Bauweisen. Dabei soll durch eine deutliche Gewichtsreduktion eine verbesserte Fahrleistung erzielt und die CO₂-Bilanz durch erhöhte Recyclingfähigkeit und reduzierten Herstellungs- und Betriebsaufwand verringert werden. Neuartige Entwärmungskonzepte und optimierte Vergussmassen sollen ferner in der Lage sein, hochwärmeleitfähige, thermische Übergänge zu schaffen und dadurch die Zuverlässigkeit elektronischer Systeme zu erhöhen.

Zukünftige Elektroautomobile erfordern nach Aussage von Dipl.-Ing. Matthias Biegerl, Koordinator des Verbundprojekts bei ElringKlinger AG, interdisziplinäre Ansätze zur Entwicklung von möglichst ressourceneffizienten Fahrzeugsystemen. Dabei spielten insbesondere die Schnittstellen zwischen modernen kunststoffbasierten Leichtbaustrukturen und elektronischen Systemen eine wichtige Rolle. *Uns bewegt das Thema Elektromobilität bereits seit gut 20 Jahren. Mit unserer Erfahrung werden wir die Ergebnisse des Forschungsvorhabens weiterentwickeln, um die Technologie bis hin zur Serienreife zu überführen und sie auf weitere struktur- und crashrelevante Bauteile zu übertragen*, sagt Matthias Biegerl.

Das Fraunhofer IMWS ist mit seinen beiden Geschäftsfeldern *Werkstoffe* und *Bauelemente der Elektronik* und *Polymeranwendungen* in beiden Teilprojekten des Vorhabens eingebunden. *Der ganzheitliche Projektansatz ermöglicht es uns, die Bandbreite unserer Kompetenzen in den vorgenannten Berei-*



E-Fahrzeug Volkswagen Showcar ID.CROZZ
(© Volkswagen AG)

chen voll auszuschöpfen, so dass am Projektende ein Konzept mit der notwendigen Anwendungsreife zur Verfügung steht, erklärt Dr.-Ing. Ralf Schlimper, Gruppenleiter Bewertung von Faserverbundsystemen am Fraunhofer IMWS.

Kunststoffbasierte Leichtbaustrukturen erfordern laut Sandy Klengel, Gruppenleiterin Bewertung elektronischer Systemintegration und stellvertretende Leiterin des Geschäftsfelds *Werkstoffe* und *Bauelemente der Elektronik* am Fraunhofer IMWS, neue elektronische Systemkonzepte mit einer optimierten thermischen Leitfähigkeit und Kühlung. Dafür seien detaillierte Analysen zum Zusammenhang zwischen technologischen Herstellungsprozessen und Einsatzbedingungen, den Mikrostruktur- und Materialeigenschaften sowie den davon abhängigen Funktionseigenschaften notwendig. *Die hervorragende technische Ausstattung des Fraunhofer IMWS bildet dafür die beste Basis*, sagt Sandy Klengel.

Das Projekt ist Teil des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Programms *Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien* und hat eine Laufzeit von drei Jahren. Insgesamt sind acht Partner und vier assoziierte Partner aus Industrie und Wissenschaft an dem Projekt beteiligt. Zu den Partnern zählen: Berliner Nanotest und Design GmbH, ElringKlinger AG, EDAG Engineering GmbH, Engel Austria GmbH (as-



ElroFoam – thermoplastische Sandwichstruktur
(© ElringKlinger AG)

soziiert), Fraunhofer IMWS, Hübers Verfahrenstechnik (assoziiert), NetCo Professional Services GmbH, Robert Bosch GmbH (assoziiert), SimpaTec Engineering GmbH, Symate GmbH, Technische Universität Chemnitz sowie die Volkswagen AG (assoziiert). Verbundkoordinator ist die ElringKlinger AG. Das Projekt ist in drei Teilprojekte untergliedert, wobei die Projektpartner entsprechend ihrer Kompetenzen eingebunden sind.

- Teilprojekt 1: Thermoplastische Sandwich-Strukturbauteile
ElringKlinger AG, EDAG Engineering GmbH, Engel Austria GmbH, Fraunhofer IMWS, NetCo Professional Services, SimpaTec Engineering GmbH, Symate GmbH, VW AG
- Teilprojekt 2: Adaptierte Elektronikkomponenten
Berliner Nanotest und Design GmbH, Fraunhofer IMWS, TU Chemnitz und als as-

soziierte Partner Hübers Verfahrenstechnik sowie Robert Bosch GmbH

- Teilprojekt 3: Demonstratorstruktur mit adaptiertem E-Bauteil
ElringKlinger AG, EDAG Engineering GmbH, Engel Austria GmbH, Fraunhofer IMWS, NetCo Professional Services GmbH, Robert Bosch GmbH, SimpaTec Engineering GmbH, VW AG

➔ www.imws.fraunhofer.de

Neu bei plating electronic – virtueller Messestand auf www.plating.de

Interaktive Erkundungsreise durch die Produktwelt der Gleichstrom- und Pulsstromquellen

Die plating electronic GmbH zählt seit Jahrzehnten weltweit zu den Technologieführern in der Entwicklung und Herstellung von Gleich- und Pulsstromquellen in der effizienten und bewährten Schaltnetzteiltechnologie. Auch im Bereich Einführung neuer Marketingideen ist die plating electronic GmbH immer wieder Trendsetter und setzt neue Maßstäbe in der Branche: Als weitere Neuheit ist jetzt auf der Webseite des Unternehmens, www.plating.de, ein virtueller Messestand integriert.

Per Klick wird eine persönliche, interaktive Erkundungsreise gestartet, mit der sich die Produktwelt der Gleichstrom- und Pulsstromquellen entdecken lässt. Der Nutzer erhält ausführliche Produktinformationen anhand von Broschüren, Produktinformationsblät-



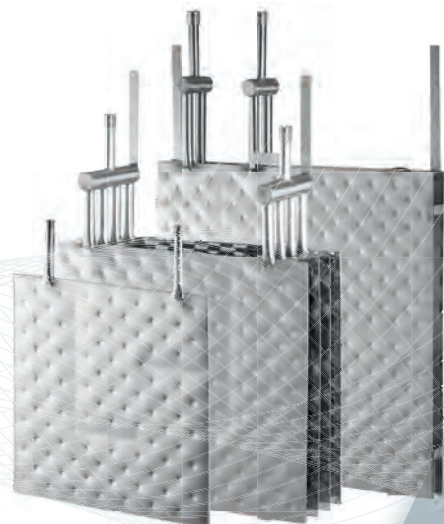
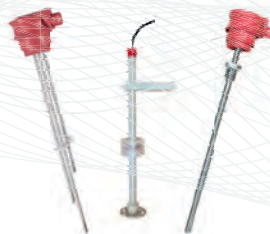
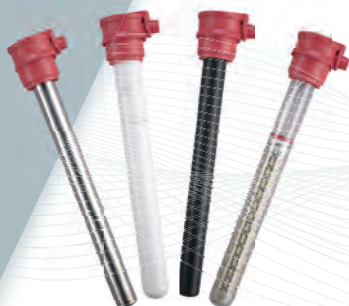
tern, Augmented/Virtual Reality 3D-Modellen sowie Unternehmens- und Produktvideos. Die plating electronic freut sich über ein Interesse an einer gemeinsamen Entdeckungstour. Es besteht aber auch die Möglichkeit,

nach Kontaktaufnahme mit den Spezialisten des Unternehmens einen gemeinsamen Rundgang zu starten.

➔ www.plating.de

... damit die
Temperatur stimmt!

Ob so ...



MAZURCZAK
Heizen Kühlen Regeln

Mazurczak GmbH
Tel. +49 / 9122 / 98 55 0
kontakt@mazurczak.de

rotkappe.de



... oder so.

Wir REGELN das für Dich!

Werkzeug-, Modell-, Formenbauer und Zulieferer an einem Ort

Technologiepartner glänzen auf der Moulding Expo mit Expertise auf allen Stufen der Wertschöpfungskette

Digitalisierung und der Einsatz neuer Technologien setzen stetig neue Maßstäbe im Werkzeug-, Modell- und Formenbau und sind unverzichtbar für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit. Um den wachsenden Anforderungen gerecht zu werden, sind zuverlässige und erfahrene Technologiepartner und deren Expertenwissen für den Werkzeug-, Modell- und Formenbau essenziell. Vom 13. bis 16. Juni 2023 bringt die Moulding Expo Werkzeug-, Modell- und Formenbauer, deren Kunden sowie die Zulieferer unter einem Dach, im L-Bank Forum (Halle 1) der Messe Stuttgart, zusammen.

Mit kurzen Laufwegen können sich die Besucher und Besucherinnen der Moulding Expo ein Bild über die neuesten Entwicklungen in den Bereichen Komponenten, Einbauteile sowie Zubehör für den Werkzeug-, Modell- und Formenbau machen. Für Christen J. Merkle, Geschäftsführer der AHP Merkle GmbH, hat die Moulding Expo den Status einer Leitmesse: *Alle zwei Jahre treffen wir hier die Branchen, mit denen wir 60 Prozent unseres Umsatzes erzielen. In diesem Jahr zeigen wir einen bunten Strauß an Neuheiten, wie beispielsweise den Einbauszylinder EBZ, intelligente Sensoren, den ECO-line Hybridzylinder aus Stahl und Aluminium oder den Zweistufenauswerfer.*

Auch die Meusburger Georg GmbH & Co KG hat sich für die Moulding Expo angemeldet. Als Komplettanbieter stellt das Unternehmen Normen für den Werkzeug- und Formenbau her. Es bietet Produkte und Online-Services entlang der gesamten Wertschöpfungskette. *Besucher können unser etabliertes Produktsortiment von Platten über Einbauteile, kundenspezifische Bearbeitung, Heißkanaltechnik und -regelung sowie Werkstattbedarf und unsere digitalen Services kennenlernen,* so Markus Jenny, Technologiemanagement Formenbau bei der Meusburger Georg GmbH & Co KG.

Für die Technologiezulieferer bedeutet die Zusammenarbeit mit Werkzeug-, Modell- und Formenbau-Unternehmen, dass ihre Dienstleistungen und Produkte die extrem hohen Anforderungen der Branche erfüllen und sie über Expertenwissen verfügen müssen. Die Oerlikon HRSflow GmbH hat sich auf Heißkanallösungen von fünf Gramm bis 50 Kilogramm spezialisiert. An ihrem Stand bietet das Unternehmen einen Überblick über ihre Lösungen für Multikavitätenanwendungen, Dünnwandanwendungen in der Verpackungsindustrie, Lösungen für kleine Schussgewich-

te im Bereich hoch technischer Kunststoffanwendungen sowie Familienwerkzeuge und Funktionsfolienhinterspritzungen.

Vom Spannmittel über Bearbeitungswerkzeuge bis zur Werkzeugmaschine

Darüber hinaus werden auf der Moulding Expo die kompletten Fertigungstechnologien für den Werkzeug-, Modell- und Formenbau abgebildet. Die Partool GmbH & Co. KG ist für hochwertige Spannmittel bekannt. Um den Anforderungen der Kunden gerecht zu werden, legt das Unternehmen besonderen Wert auf individuelle Lösungen. Für den Werkzeug-, Modell- und Formenbau, für den Maschinenbau, die Medizintechnik, die Lohnfertigung, die Produktion oder die Automotivbranche bietet es individuelle Spannmittel. *Wir bieten hochgenaue und prozesssichere Nullpunktspannsysteme, innovative Werkstückspanntechnik, Automation und eine umfassende Beratung,* sagt Holger Heimerding, Leitung Projektmanagement und Vertrieb und Prokurist der Partool GmbH & Co. KG. Gemeinsam mit den Kunden analysiere man Prozesse, entwickle Lösungen und setze diese um.

Für viele Bereiche der industriellen Produktion und speziell im Werkzeug-, Modell- und Formenbau sind Präzisionswerkzeugmaschinen unverzichtbar. Seit der Gründung im Jahr 1930 hat sich die Fehlmann AG darauf spezialisiert, qualitativ hochwertige Präzisions-Werkzeugmaschinen zu produzieren. Wie Alain Strebel, Head of Sales Northern Europe bei der Fehlmann AG Maschinenfabrik, zusammenfasst, entwickelt und produziert das Unternehmen qualitativ hochstehende Präzisionswerkzeugmaschinen. *Neben den bewährten Präzisions-Fräsmaschinen für die manuelle und die CNC-Bearbeitung präsentieren wir auf der Moulding Expo ein kompaktes Hochleistungsbearbeitungszentrum*



(© Landesmesse Stuttgart GmbH)

aus der VERSA-Linie, das modular ausbaubar ist und die Verfahren Fräsen, Hartfräsen und Koordinatenschleifen perfekt kombiniert, so Alain Strebel.

Ebenfalls unverzichtbar im Werkzeug-, Modell- und Formenbau sind hochwertige Zerspanungswerkzeuge. Die Zecha Hartmetall-Werkzeugfabrikation GmbH ist Experte in diesem Bereich. Das Unternehmen hat sich auf hochgenaue Mikro-Präzisionswerkzeuge für beispielsweise den Formenbau, die Medizin und Teilefertigung spezialisiert und freut sich, ihre Innovationen im Bereich der Mikrowerkzeuge sowie eine Neuheit im Bereich der Prüftechnik für Mikrowerkzeuge auf der Moulding Expo zu zeigen.

Expertise auf allen Stufen der Wertschöpfungskette

Von Hydraulikzylindern über Normen bis zum Heißkanalsystem, vom Spannmittel über Bearbeitungswerkzeuge bis zur Werkzeugmaschine und zur Softwarelösung – auf der Moulding Expo glänzen Zulieferer mit ihrer Expertise auf allen Stufen der Wertschöpfungskette. Gemeinsam mit den Werkzeug-, Modell- und Formenbauern zeigen sie im L-Bank Forum (Halle 1) der Messe Stuttgart vom 13. bis 16. Juni 2023 das Beste, was die Branche zu bieten hat

➔ www.moulding-expo.de

Eisenoxid-Nanopartikel für die Medizintechnik

Eisenoxid-Nanopartikel werden oft in der Medizintechnik eingesetzt – als Kontrastmittel für Magnetresonanztomographen oder für den Medikamententransport in der Blutbahn, zum Beispiel in der Tumorthherapie. Dafür müssen sie biokompatibel sowie superparamagnetisch im Magnetfeld stark magnetisierbar sein und ohne Magnetfeld ihre Magnetisierung nicht verlieren. Wie die besonderen magnetischen Eigenschaften der Nanopartikel durch Mikrostrukturdesign weiter verbessert werden können, hat ein Team der TU Bergakademie Freiberg mit analytischer hochauflösender Transmissionselektronenmikroskopie untersucht.

Das Wissen um die genaue Struktur der Eisenoxid-Nanopartikel hilft dabei, ihren Herstellungsprozess gezielt zu optimieren und ihre magnetischen Eigenschaften zu verbessern. Wie stark sich die zwischen 20 und 30 Nanometer großen Partikel magnetisieren lassen, hängt davon ab, wie ihre einzelnen Kerne zueinander orientiert sind. Ein Partikel besteht dabei aus mindestens zwei nanokristallinen Kernen mit einer Hülle, die nicht zu den magnetischen Eigenschaften beiträgt.

Der aktuelle Stand der Forschung ging bisher nach Aussage von Stefan Neumann, Erstautor der Veröffentlichung und wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Bergakademie Freiberg, davon aus, dass eine starke Ausrichtung magnetischer Momente in mehrkernigen Eisenoxid-Nanopartikeln durch die gleiche kristallografische Orientierung einzelner Kerne ermöglicht wird. Die Analysen zeigen nun aber, dass das nicht der Fall ist, so Neumann. Auch andere spezifische kristallografische Orientierungsbeziehungen könnten die magnetische Wechselwirkung fördern. *Zufällig ausgerichtete Kerne sorgen jedoch dafür, dass die magnetischen Eigenschaften der Nanopartikel schlechter sind*, erklärt Stefan Neumann. *Um Eisenoxid-Nanopartikel für künftige Anwendungen in der Medizin gezielt herstellen zu können, brauchen wir das Wissen um ihre innere Struktur*, sagt Co-Autor Prof. David Rafaja, Leiter des Instituts für Werkstoffwissenschaft der TU Bergakademie Freiberg. Während der Herstellung bildeten sich zuerst einzelne Kerne; plane man dabei mehr Zeit für die optimale Ausrichtung der Kerne zueinander ein, könnten die magnetischen Eigenschaften noch weiter verbessert werden.

Die Ergebnisse wurden im von der DFG geförderten Schwerpunktprogramm *MehrDimPart – Hochspezifische mehrdimensionale Fraktionierung von technischen Feinstpartikelsystemen* gewonnen. Ziel der Forschungen ist es, technologische Ansätze zu entwickeln, die es ermöglichen, hochspezifische und technologisch relevante Partikelsysteme mit gewünschten Eigenschaften kontrolliert erzeugen zu können. An der aktuellen Publikation ist neben der TU Bergakademie Freiberg auch das Karlsruher Institut für Technologie beteiligt. Bei den durchgeführten Untersuchungen handelt es sich um Grundlagenforschung zur Struktur der Nanopartikel, deren Ergebnisse zur optimierten Herstellung der Teilchen verwendet werden können.

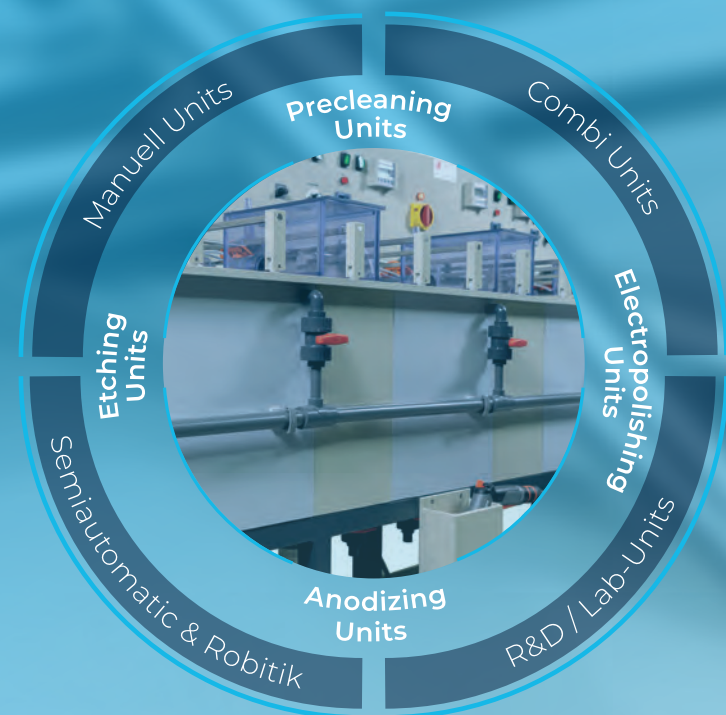
Originalpublikation:

S. Neumann, L. Kuger, CR. Arlt et al.: Influence of the hierarchical architecture of multi-core iron oxide nanoflowers on their magnetic properties; Sci Rep 13, 5673 (2023), <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31294-4>

➔ <https://tubaf.org>



Wir sorgen für perfekte Oberflächen in der Medizintechnik.



- ✓ Vorbehandlung
- ✓ Farbanodisieren
- ✓ Grauanodisieren
- ✓ Elektropolieren
- ✓ Beizen & Ätzen
- ✓ Nachbehandlung

Walter Lemmen GmbH

Birkenstraße 13
97892 Kreuzwertheim
Tel.: +49 (0) 9342 240 977-0
info@walterlemmen.de
www.walterlemmen.de



Wie lassen sich Altbatterien energieeffizient recyceln?

Von Christian Mock, Inga Landwehr und Stefan Kuntz

Der seit 2021 novellierte Vorschlag zur EU-Verordnung des europäischen Parlaments über (Alt-)Batterien [1] enthält neben Rücknahmequoten auch Bestimmungen für die Rückführung und Reintegration von recyceltem Material in neue Batteriezellen. Die Rückführung der Materialien öffnet hierbei die Chance, die Kritikalität bei der Rohstoffversorgung und damit die Abhängigkeit von Rohstoffimporten zu reduzieren. Im Forschungsprojekt *ReUpDirekt* arbeiten Forschende des Fraunhofer IPA, der Hochschule Esslingen und der Universität Stuttgart gemeinsam mit den assoziierten Industriepartnern Varta Microbattery GmbH, e-mobil BW GmbH und Erlos GmbH an der Umsetzung energieeffizienter und nachhaltiger Prozesse zur Aufwertung von NMC-Kathodenmaterial.

Mit dem Anstieg der Elektromobilität und der damit verbundenen Zellproduktion werden auch die Rahmenbedingungen für den Lebenszyklus der Lithiumionenzellen stetig weiter definiert. Je nach Zustand der Batteriezellen, die dem Recyclingprozess zugeführt werden, ändern sich auch die Herausforderungen an die Recyclingtechnologien. Das Recycling von Lithiumionenbatterien (LIB) kann grundlegend in drei verschiedene Technologiepfade untergliedert werden [2], die allein oder kombiniert angewendet werden können. Hierzu zählt neben den indirekten Technologien, der Hydrometallurgie und der Pyrometallurgie, das sogenannte direkte Recycling [3, 4]:

- Die *hydrometallurgische Route* umfasst die Auslaugung von wertvollen Elementen aus einer festen Form in Ionenform in einer Lösung aus anorganischen oder organischen Säuren [5] und anschließend die Rückgewinnung dieser Metalle durch mehrstufige selektive Anreicherungs-, Lösemittelextraktions- und Fällungsprozesse in metallisches Material oder als Salze für die Herstellung von neuen Elektrodenmaterialien (Precursor) [2, 6]. Vor der hydrometallurgischen Behandlung werden die End-of-Life-LIB in der Regel mechanisch zerkleinert, um die hydrometallurgische Prozesskette zu erleichtern.
- Die *pyrometallurgische Route* nutzt Schmelzprozesse, bei denen Metalle wie Kobalt, Kupfer und Nickel in der Schmelzphase konzentriert werden, während andere Bestandteile wie Lithium, Aluminium, Silizium, Calcium und Eisen in der Schlackenphase verbleiben [2, 7]. Um reine Metalle oder Metallsalze zu erhalten, müssen die Schlacken anschließend hydrometallurgisch weiter aufbereitet werden.
- Beim *direkten Recycling* (Direkt-Routing) werden selektierte Elektrodenmaterialien zurückgewonnen, ohne diese in ihre ele-

mentaren Bestandteile aufzuspalten [8, 9]. Ziel ist es hierbei, dieses Material mit möglichst geringem Aufwand in der Frischzellenfertigung und somit dem Kreislauf erneut zuzuführen.

Ziel des Forschungsvorhabens *ReUpDirekt* ist die Umsetzung von energieeffizienten und nachhaltigen Prozessen zur Aufwertung von NMC-Kathodenmaterial aus einem CO₂-reduzierten Recyclingverfahren, ohne den Umweg über verschiedene Precursorstufen zu nehmen. Durch die Aufwertung soll entsprechend der ganzheitlichen Betrachtung des Ökosystems Batterie eine anteilige Rückführung von sogenanntem Sekundärrohstoff in die Fertigung neuer Batteriezellen ermöglicht werden ohne Einschränkungen hinsichtlich der erzielbaren Zellkapazität und Lebensdauer. Angestrebt wird entsprechend dem Entwurf der EU über (Alt-)Batterien [1] eine Rückführung des Kathodenmaterials zu mehr als 90 Prozent.

Das in dem Vorhaben eingesetzte Rezyklat stammt aus einem direkten Recyclingprozess (Erlos-Prozess), bei dem das Kathodenaktivmaterial CO₂-arm vom Stromsammelner separiert wird [10]. Durch die Einbindung der Landesagentur e-mobil BW sollen die Ergebnisse der Industrie in Baden-Württemberg zugänglich gemacht werden. Zudem dient die Einbindung eines assoziierten Partners aus dem Segment des Batterierecyclings (Erlos GmbH) einer fachlichen Beratung hinsichtlich zu berücksichtigender Anforderungen aus industrieller Sicht für die Praxistauglichkeit. Als Batteriehersteller steht die Varta Microbattery dem Konsortium bezüglich späterer anwendungsorientierter Zellformate und -größen als assoziierter Partner beratend zur Seite.

Literatur

- [1] Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Alt-

batterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020: COM/2020/798 final, 2020; online, verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020PC0798&from=DE>

- [2] Y. Wang et al.: Recent progress on the recycling technology of Li-ion batteries; *Journal of Energy Chemistry*, Jg. 55, Nr. 2019, S. 391–419, 2021, doi: 10.1016/j.jechem.2020.05.008
- [3] M. Chen et al.: Recycling End-of-Life Electric Vehicle Lithium-Ion Batteries; *Joule*, Jg. 3, Nr. 11, S. 2622–2646, 2019, doi: 10.1016/j.joule.2019.09.014
- [4] D. Steward, A. Mayyas, M. Mann: Economics and Challenges of Li-Ion Battery Recycling from End-of-Life Vehicles; *Procedia Manufacturing*, Jg. 33, S. 272–279, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.04.033
- [5] W. Gao et al.: Lithium Carbonate Recovery from Cathode Scrap of Spent Lithium-Ion Battery: A Closed-Loop Process; *Environmental science & technology*, Jg. 51, Nr. 3, S. 1662–1669, 2017, doi: 10.1021/acs.est.6b03320
- [6] T. Sieber, J. Ducke, A. Rietig, T. Langner, J. Acker: Recovery of Li(Ni_{0.33}Mn_{0.33}Co_{0.33})O₂ from Lithium-Ion Battery Cathodes: Aspects of Degradation; *Nanomaterials* (Basel, CH), Jg. 9, Nr. 2, 2019, doi: 10.3390/nano9020246
- [7] R. Zhan, T. Payne, T. Leftwich, K. Perrine, L. Pan: Deagglomeration of cathode composites for direct recycling of Li-ion batteries; *Waste management* (New York, N.Y.), Jg. 105, S. 39–48, 2020, doi: 10.1016/j.wasman.2020.01.035
- [8] A. M. Bernardes, D. C. R. Espinosa, J. A. S. Tenório: Recycling of batteries: a review of current processes and technologies; *Journal of Power Sources*, Jg. 130, 1–2, S. 291–298, 2004, doi: 10.1016/j.jpowsour.2003.12.026
- [9] F. Larouche et al.: Progress and Status of Hydrometallurgical and Direct Recycling of Li-Ion Batteries and Beyond; *Materials* (Basel, CH)
- [10] Kurz et al.: Global Warming Potential of a New Waterjet-Based Recycling Process for Cathode Materials of Lithium-Ion Batteries; *Batteries* 7 (2), S. 29, 2021, doi: 10.3390/batteries7020029

Plasmanitrieren zur Verbesserung der Haftfestigkeit von DLC-Schichten auf dem hochlegierten Werkzeugstahl X155CrVMo12-1

Von Tim Bergelt¹, Christian Kipp², Thomas Grund¹, Günther Bräuer² und Thomas Lampke¹

DLC-Schichten (DLC – Diamant-like Carbon) besitzen eine hohe Härte, eine hohe Verschleißbeständigkeit und einen niedrigen Reibkoeffizienten, wodurch sie in tribologischen Systemen vielfältigen Einsatz finden. Jedoch können diese positiven tribologischen Eigenschaften durch die unzureichende Haftung von DLC-Schichten auf Stahloberflächen nicht vollständig genutzt werden. Ziel der hier beschriebenen Untersuchungen ist daher die Verbesserung der DLC-Schichthaftung auf Stahl durch eine darunterliegende plasmanitrierte Oberfläche. Die Untersuchungen erfolgen am Kaltarbeitsstahl X155CrVMo12-1. Der Einfluss der Nitrierschicht auf die DLC-Schichthaftung wird durch eine Variation der Zusammensetzung der beim Plasmanitrieren entstehenden Verbindungsschicht (α , γ' oder ϵ -Nitride) systematisch erfasst. Haftungstests zeigen, dass Plasmanitrieren die Haftung von DLC-Schichten verbessern kann, sie jedoch auch von anderen Faktoren wie der Rauheit beeinflusst wird.

1 Ausgangssituation

DLC-Schichten kombinieren eine hohe Härte und einen hohen E-Modul mit einer guten chemischen Beständigkeit, Temperaturbeständigkeit sowie einer hohen Verschleißbeständigkeit bei sehr geringen Reibkoeffizienten gegenüber Metallen, Keramiken, Gläsern und Kunststoffen. Dadurch sind DLC-Schichten in vielen Anwendungen zu finden, beispielsweise in Lagern und anderen Gleitsystemen im Motorenbau, bei Schneid- und Schmiedewerkzeugen, aber auch in der Medizintechnik [1–3]. Bei DLC-Schichten handelt es sich um Schichten aus amorphem Kohlenstoff unterschiedlicher Klassen, die in der ISO 20523 beschrieben sind. DLC-Schichten werden anhand ihrer Anteile von sp^2 - und sp^3 -hybridisierten C-C-Bindungen in grafitartige amorphe (a-C) und tetraedrisch amorphe (ta-C) Kohlenstoffschichten unterschieden, die als wasserstoffhaltige (a-C:H bzw. ta-C:H) und metallhaltige (a-C:M bzw. ta-C:M) Systeme abgeschieden werden können. In den hier beschriebenen Untersuchungen werden wasserstoffhaltige a-C:H-Schichten verwendet, die durch PACVD-Prozesse (PACVD – plasma-assisted chemical vapor deposition) abgeschieden wurden [4].

Die Anwendungsmöglichkeiten von DLC-Schichten sind stark von ihrer Haftfestigkeit auf dem jeweiligen Grundwerkstoff abhängig. Durch eine verbesserte Haftung wird somit das Anwendungsspektrum von DLC-Schichten erweitert. Eine Möglichkeit, um die

Haftfestigkeit zu erhöhen, ist die Nutzung metallischer PVD-Zwischenschichten (PVD – physical vapor deposition), häufig auf Basis von Chrom und Titan [5]. Wenn das Aufbringen von metallischen Zwischenschichten nicht möglich oder nicht wirtschaftlich ist, beispielsweise bei der ausschließlichen Nutzung von PACVD-Verfahren, kann der Übergangsbereich der DLC-Schichten hin zur Substratoberfläche mit Silizium dotiert werden (a-C:H:Si). Dafür kommen siliziumhaltige Prekursoren, wie zum Beispiel Tetramethylsilan (TMS), zum Einsatz. In den hier beschriebenen Untersuchungen wurde diese DLC-Schichtmodifizierung genutzt [6].

In Anwendungen mit extremen Schichtbelastungen, wie sie unter anderem in Umformwerkzeugen auftreten, werden jedoch weit über höhere Haftfestigkeiten gefordert, als sie auf konventionellen Wegen erreichbar sind. Für DLC-Schichten auf Stählen zeigen experimentelle Untersuchungen, dass eine Haftfestigkeitssteigerung durch eine vorausgehende Erhöhung der Härte der zu beschichtenden Oberfläche, zum Beispiel durch eine Nitrierbehandlung, erreicht werden kann [7].

Das Nitrieren ist ein weitverbreitetes, thermochemisches Verfahren zur Oberflächenbehandlung von Stählen, bei dem durch die Eindiffusion von atomarem Stickstoff eine harte, verschleiß- und korrosionsbeständige Oberfläche erzeugt wird. Infolge des Stickstoffeinbaus bildet sich eine sogenannte Nitrierzone. Dabei handelt es sich um eine behandelte

Bauteilrandzone, die aus einer Verbindungsschicht (VS) und einer Diffusionsschicht (DS) besteht. Die Verbindungsschicht ist eine vollständig chemisch umgewandelte Oberfläche, die aus Eisennitriden besteht (γ' - und ϵ -Nitride). An diese Schicht schließt sich in Richtung des Bauteilkerns die Diffusionsschicht an, in der sich je nach vorliegenden Legierungselementen metallische oder kovalente nitridische Ausscheidungen bilden und Stickstoffatome interstitiell im vorliegenden Eisengitter eingelagert sind.

Der Vorteil des Plasmanitrierprozesses besteht darin, dass die Nitrierzone durch Anpassung der Prozess- und Plasmaparameter (z. B. Behandlungstemperatur und -dauer, Stickstoffpartialdruck, Plasmaenergie) in einem weiten Bereich gestaltet werden kann. Dazu zählen eine gezielte Variation der Nitrierhärte, eine Veränderung der Anteile der vorliegenden Eisennitride in der Verbindungsschicht, aber auch die Möglichkeit, verbundsschichtfreie Nitrierschichten zu erzeugen [8]. Durch systematische Untersuchungen sollen hier die Gründe für die experimentell beobachtete Erhöhung der Haftfestigkeit von DLC-Schichten auf plasmanitrierten Stahloberflächen offengelegt und beschrieben werden.

2 Experimentelles Vorgehen

Für die hier beschriebenen Untersuchungen wurde der ferritisch-martensitische Kaltarbeitsstahl X155CrVMo12-1 verwendet. Beschichtet wurden Rundproben mit einem Durchmesser von 35 mm und einer Dicke von 4 mm. Vor der DLC-Schichtabscheidung

¹ Technische Universität Chemnitz, Professur Werkstoff- und Oberflächentechnik (WOT)

² Technische Universität Braunschweig, Institut für Oberflächentechnik (IOT)

OBERFLÄCHEN

wurden sie auf eine Oberflächenrauheit von $R_a = 0,005 \mu\text{m}$ poliert und in einer Heiwand-Plasmanitrieranlage nitriert. Verschiedene Prozessrouten wurden zur Einstellung unterschiedlicher Modifikationen der plasmanitrierten Oberflächen genutzt und verbindungs-schichtfreie (Alpha, α) Nitrierschichten sowie Nitrierschichten mit unterschiedlichen Eisennitride in der Verbindungsschicht (Gamma-, γ' , und Epsilon, ϵ) erzeugt (Abb. 1). Zielgröße der Plasmanitriervorbehandlung war jeweils eine homogene Zusammensetzung der Oberfläche.

Die zur Erzeugung der α - und der γ' -Modifikation angewendete, zweistufige Prozessführung hatte zudem den Vorteil, dass die Hrtetiefenverlufe der einzelnen Proben reproduzierbar gleich gestaltet werden konnten, wodurch unterschiedliche Sttzwirkungseffekte, welche die Haftfestigkeit beeinflus-

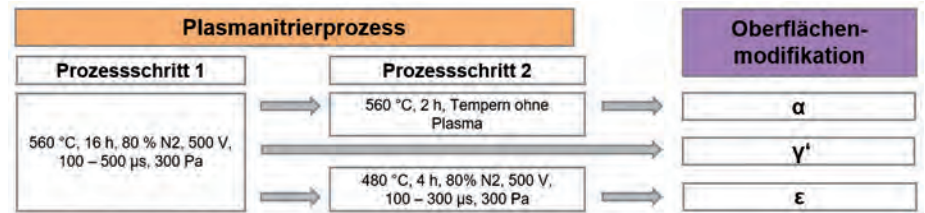


Abb. 1: Darstellung der unterschiedlichen Prozessrouten zum Einstellen der drei Oberflächenmodifikationen Alpha (α), Gamma' (γ') und Epsilon (ϵ)

sen könnten, von Beginn an ausgeschlossen wurden.

Um den Einfluss der aus dem Nitrierprozess folgenden Rauheitssteigerung der behandelten Oberfläche auf die Haftwirkung zu untersuchen, wurde die Hälfte der Proben nach dem Nitrieren poliert. Somit lagen für jeden Oberflächenzustand Proben mit $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ und Proben mit $R_a = 0,01 \mu\text{m}$ vor.

Die jeweilige Zusammensetzung der Verbindungsschicht wurde durch Röntgendiffraktometrie (XRD) bestimmt. Die Messungen erfolgten bei einem festen Einfallswinkel von 5° und wurden zwischen 20° und 100° mit einer Schrittweite von $0,2^\circ$ und einer Scan-Geschwindigkeit von 5 s pro Schritt durchgeführt. Der feste Einfallswinkel von 5° wurde gewählt, um die Eindringtiefe zu begrenzen,

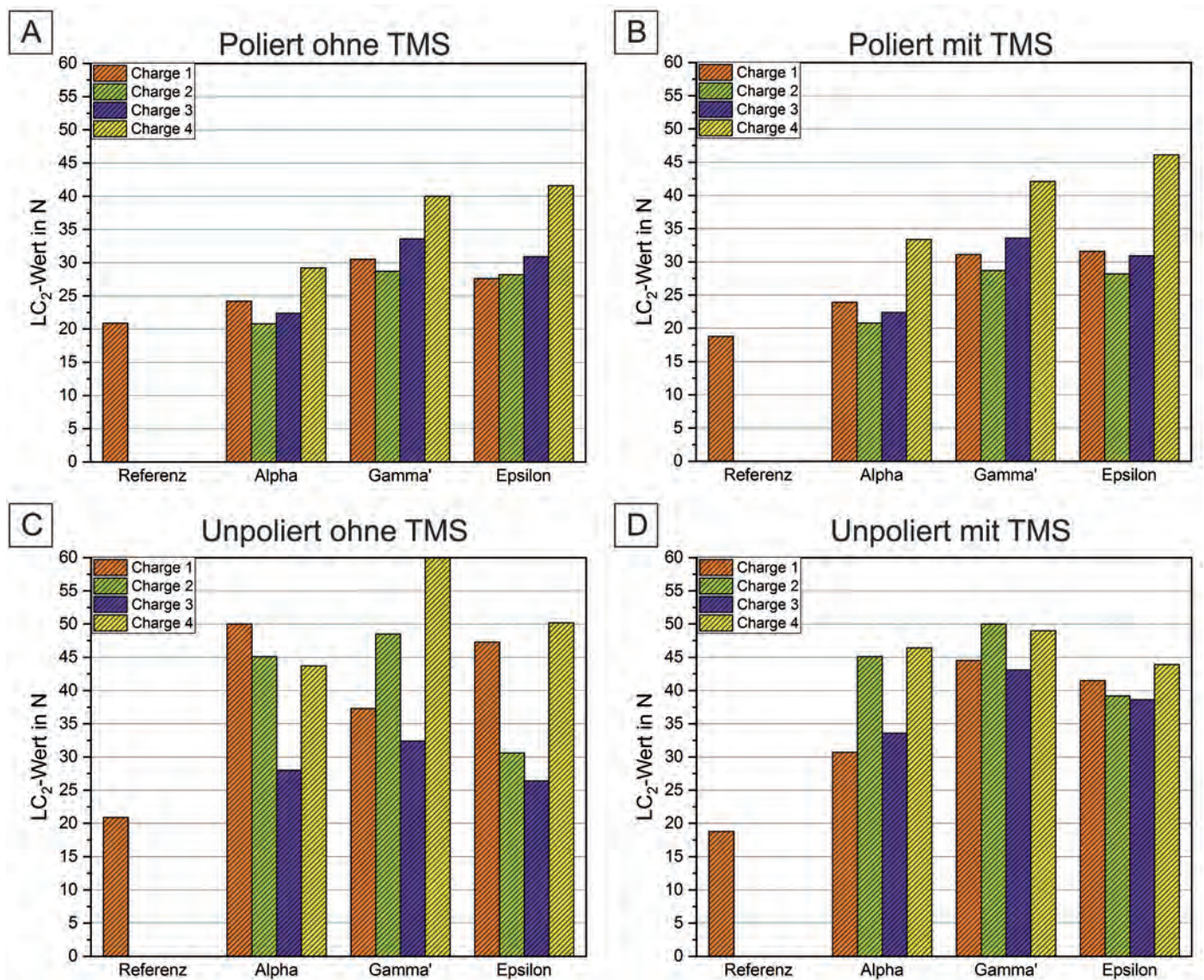


Abb. 2: LC₂-Werte zwischen den verschiedenen Oberflächenmodifikationen (Alpha, Gamma' und Epsilon) und Charges (1–4) an plasmanitrierten Proben im Vergleich zu einer unnitrierten Referenzprobe; poliert ohne TMS (A), poliert mit TMS (B), unpoliert ohne TMS (C) und unpoliert mit TMS (D)

da sonst die Gefahr besteht, die Verbindungsschicht zu durchstrahlen und den Grundwerkstoff zu analysieren.

Die Abscheidung der DLC-Schicht erfolgte in einem PACVD-Prozess, das heißt mit zusätzlicher Plasmaaktivierung durch Hochfrequenzanregung. Auf einen Teil der Proben wurde eine nicht-modifizierte a-C:H-DLC-Schicht aufgebracht. Ein anderer Teil der Proben enthielt zusätzlich eine siliziummodifizierte a-C:H:Si-DLC-Schicht als Übergangsschicht zwischen Grundwerkstoff und a-C:H-DLC-Deckschicht.

Die Haftfestigkeit der DLC-Schichten beziehungsweise Schichtsysteme wurde mithilfe von Scratchtests ermittelt. Die Ritzlänge betrug 5 mm. Der pyramidenförmige Eindringkörper wurde progressiv mit einem linearen Kraftanstieg von 1 N bis 60 N belastet. Als Kriterium zur Auswertung der DLC-Schichthaftfestigkeit wird der LC_2 -Wert herangezogen. Dieser gibt die Kraft an, bei der erstmalig Abplatzungen der Schicht auftreten. Für eine leichtere Lesbarkeit wird im Folgenden trotzdem der Begriff der Haftfestigkeit genutzt, auch wenn keine flächenbezogenen Werte zugrunde liegen. Für jede Probe wurden drei Scratchtests durchgeführt und ein Durchschnitt für die LC_2 -Werte gebildet.

3 Ergebnisse

In *Abbildung 2* sind die LC_2 -Werte für jeweils vier getestete Chargen an DLC-Schichten über die drei vorab auf den Stahlsubstraten eingestellten nitrierten Oberflächenmodifikationen α , γ' und ϵ sowie einer nicht-nitrierten Referenzprobe dargestellt. *Abbildung 2A* zeigt die Ergebnisse der Proben, die nach dem Plasmanitrieren poliert wurden, jedoch keine zusätzliche Haftschrift (TMS) besitzen. In *Abbildung 2B* sind ebenfalls Ergebnis-

se der polierten Proben zu sehen, bei denen jedoch eine a-C:H:Si-Haftschrift zwischen DLC-Deckschicht und Stahlsubstrat eingebracht wurde.

In beiden Diagrammen ist nur eine geringe Erhöhung der DLC-Schichthaftfestigkeit von etwa 4 N für die verbindungsschichtfreie α -Modifikation des Stahlsubstrats im Vergleich zur Referenzprobe zu erkennen. Der Zuwachs fällt mit etwa 12 N jedoch deutlicher aus für die eine Verbindungsschicht aufweisenden Modifikationen γ' und ϵ . Es fällt auf, dass bei sonst identischen Prozessparametern sowohl beim Plasmanitrieren als auch beim DLC-Beschichten chargenabhängige Haftfestigkeitsunterschiede auftreten. So weisen DLC-Schichten der Charge 4 durchgehend höhere Haftfestigkeiten als die der Chargen 1 bis 3 auf. Unabhängig von den Absolutwerten zeigen die Ergebnisse aber, dass DLC-Schichten auf plasmanitrierten Stahloberflächen im Vergleich zu unnitrierten Stahloberflächen höhere Haftfestigkeiten besitzen und außerdem plasmanitrierte Oberflächen mit Verbindungsschicht im Vergleich zu Oberflächen ohne Verbindungsschicht diese Wirkung erhöhen.

In *Abbildung 2C* und *Abbildung 2D* sind die Ergebnisse der Haftfestigkeitsuntersuchungen von DLC-Schichten beziehungsweise DLC-Schichtsystemen auf unpolierten Proben dargestellt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungsreihe zeigen keine so deutlichen Trends bezüglich der vorliegenden Oberflächenmodifikation nach dem Plasmanitrieren wie die zuvor beschriebenen Untersuchungen an polierten Proben. So ist der Einfluss der Oberflächenmodifikation α , γ' oder ϵ auf die Höhe der Haftfestigkeit auf unpolierten Oberflächen im Vergleich zu polierten nitrierten Oberflächen geringer. Jedoch

wurden höhere Schwankungen der LC_2 -Werte zwischen den einzelnen Chargen registriert. Diese Schwankungen sind ausgeprägter für DLC-Schichten, die ohne a-C:H:Si-Haftschrift abgeschieden wurden. So variiert die Haftfestigkeit der hergestellten a-C:H-DLC-Schichten auf plasmanitrierten unpolierten Stahloberflächen mit γ' -Modifikation zwischen 32 N und 60 N.

Für die DLC-Schichtsysteme mit zusätzlicher Haftschrift fallen die Schwankungen der Haftfestigkeit bei leicht verminderten LC_2 -Maximalwerten geringer aus. Vor allem für die plasmanitrierten Oberflächen mit Verbindungsschicht (γ' und ϵ) liegen die Schwankungen des LC_2 -Werts lediglich im einstelligen Bereich (LC_2 -Werte für die γ' -Modifikation etwa zwischen 45 N und 50 N, für die ϵ -Modifikation etwa zwischen 40 N und 45 N). Für die verbindungsschichtfreie α -Modifikation variieren die LC_2 -Werte der DLC-Schichtsysteme zwischen den Chargen stärker (von 31 N bis 46 N). Im Vergleich zu den Betrachtungen an polierten Proben liegen sie im Mittel nur leicht unter den Haftfestigkeitswerten, wie sie auf plasmanitrierten Oberflächen mit Verbindungsschicht erreicht werden.

Im Vergleich aller Untersuchungsergebnisse wird deutlich, dass auf plasmanitrierten Oberflächen ohne zwischengeschaltetes Polieren höhere LC_2 -Maximalwerte für DLC-Schichten und DLC-Schichtsysteme erzielt werden als auf nitrierten und anschließend polierten Oberflächen. Auf allen drei Modifikationen wurden maximale Haftfestigkeiten bis 50 N erreicht, für die Modifikation γ' sogar bis 60 N.

Bei den polierten Proben ist die Erhöhung der Haftfestigkeit mit der zunehmenden Stützwirkung durch den Plasmanitrierprozess zu begründen, da die verbindungsschicht

BRW
CHEMIE

SEIT 2020 MIT EINEM NEUEN TEAM
UND EINER STARKEN GRUPPE
DAHINTER.

WIR LEBEN OBERFLÄCHENTECHNIK

- + **Metarox** – Entfettung
- + **Avant / Amex Elcid** – saure Zinksysteme
- + **Royal** – cyanidische Zinksysteme
- + **Nickofan** – Nickelsysteme
- + **Cobre/Cuprofan** – cyanidische und alkalisch cyanfreie Kupfersysteme
- + **Colorchrom** – Passivierungen
- + **Metastrip** – Beizentfetter und Entmetallisierungen
- + **Cynex** – alkalische Zinksysteme
- + **Quimi** – chemische Nickelsysteme
- + **Cuprocid** – saure Kupfersysteme
- + **RSI-Produktreihe** – Produktlösungen für Eloxalbetriebe
- + **Avant Guard** – Top Coats
- + **Metallfärbungen**
- + **Zink-Nickel Verfahren**
- + **Weißbronze**
- + **Mechanische Verzinkung** – Produktlösungen und Anlagenbau

schichtfreie Nitrierschicht (α) eine geringere Härte aufweist als die Verbindungsschichten (γ' oder ϵ) in plasmanitrierten Oberflächen und sich dies in den verminderten mittleren LC_2 -Werten widerspiegelt. Jedoch wird der haftungserhöhende Beitrag der Stützwirkung bei plasmanitrierten unpolierten Oberflächen offenbar durch Gestalteinflüsse der Oberfläche stark überlagert und ist damit nur untergeordnet wirksam.

Ebenfalls ist bei plasmanitrierten unpolierten Oberflächen der haftungserhöhende Effekt einer a-C:H:Si-Haftschrift sowie der Einfluss der chemischen Zusammensetzung der durch den Plasmanitrierprozess eingestellten Verbindungsschicht auf die Haftfestigkeit nicht sichtbar. Die nach dem Plasmanitrierprozess vorliegende Oberflächenrauheit übt scheinbar einen größeren Einfluss auf die Haftfestigkeiten der DLC-Schichten und DLC-Schichtsysteme auf plasmanitrierten Oberflächen aus und erhöht diese im Vergleich zur nicht-plasmanitrierten Referenz signifikant um bis zu Faktor 3.

Um die Wirkung der Oberflächenrauheit von plasmanitrierten Schichten auf die Haftung von DLC-Schichten von anderen Einflüssen getrennt betrachten zu können, wurde eine weitere Versuchsreihe durchgeführt. Nicht-plasmanitrierte Stahlproben wurden so aufgeraut, dass sie eine Rauheit wie nitrierte Proben von $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ aufwiesen. Dies erfolgte sowohl durch Schleifen als auch durch Strahlen mit Glasperlen. Im Ergebnis zeigen sowohl DLC-Schichten als auch DLC-Schichtsysteme auf beiden aufgerauten Oberflächen unveränderte oder schlechtere LC_2 -Werte im Vergleich zu polierten Stahlproben. DLC-Schichten auf gestrahlten Oberflächen weisen LC_2 -Werte von knapp 8 N, Schichten auf geschliffenen Oberflächen von knapp 24 N auf. Die Ergebnisse der zusätzlichen Versuchsreihe zeigen, dass die eingebrachte Oberflächenrauheit durch das Nitrieren nicht die Ursache für die höheren mittleren und maximalen Haftfestigkeiten der DLC-Schichten und DLC-Schichtsysteme ist.

4 Zusammenfassung

Ziel der Forschungsarbeit war es, eine Verbesserung der Haftfestigkeit von DLC-Schichten auf Stahlsubstraten durch Plasmanitrieren ohne das Aufbringen einer zusätzlichen metallischen Haftschrift zu erreichen. Hierzu wurden durch Plasmanitrieren drei un-

terschiedliche Oberflächenmodifikationen erzeugt: eine verbindungsschichtfreie α -Modifikation und zwei Modifikationen mit einer Verbindungsschicht entweder aus γ' -Nitriden oder aus ϵ -Nitriden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Haftung von PACVD-DLC-Schichten auf Stahlproben durch das Plasmanitrieren deutlich verbessert werden kann. Es konnten maximale LC_2 -Werte bis 60 N ohne eine zusätzliche Haftschrift erreicht werden. Plasmanitrierte Stahlproben weisen nach dem Nitrieren eine Rauheit von etwa $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ auf. Das Polieren von plasmanitrierten Proben vor dem DLC-Beschichten führt zu gut reproduzierbaren Schichthaftfestigkeiten, jedoch betragen die LC_2 -Werte dieser Proben im Mittel nur circa 30 N. Diese Werte liegen etwa 10 N über denen der unbehandelten Referenz-Stahlproben.

Höhere mittlere Haftfestigkeiten von etwa 35 N bis 40 N und Maximalwerte von 50 N bis 60 N werden auf plasmanitrierten unpolierten Proben erreicht. Der Einfluss verschiedener Oberflächenmodifikationen sowie der von a-C:H:Si-Haftschriften wird hierbei überdeckt. Eine schlüssige Erklärung für die teilweise sehr hohen Haftfestigkeiten von DLC-Schichten auf den unpolierten Proben steht weiterhin aus. Die Oberflächenstrukturhöhe hat vermutlich einen Einfluss; dieser Parameter zeigt aber auch einen gegenteiligen Effekt bei DLC-Schichten auf künstlich aufgerauten, nicht plasmanitrierten Stählen hinsichtlich verringerter Haftfestigkeiten. Somit zeichnet sich ab, dass neben der hier untersuchten Härtecharakteristik und chemischen beziehungsweise strukturellen Zusammensetzung der plasmanitrierten Oberflächen zusätzliche Einflussfaktoren auf die Schichthaftung von DLC-Schichten existieren. Weitere Forschungsarbeiten, die sich der Oberflächentopografie nach der Nitrierbehandlung, den Unterschieden hinsichtlich der Eigenspannungsverteilung im Substrat beziehungsweise innerhalb der DLC-Schicht durch das Nitrieren und gegebenenfalls dadurch ausgelöster Reaktionen im oberflächennahen Bereich widmen, sind erforderlich. Die Ergebnisse zeigen eine Erhöhung der Haftfestigkeit von DLC-Schichten auf plasmanitrierten Stahloberflächen infolge der Härtesteigerung und der veränderten chemischen und strukturellen Zusammensetzung der behandelten Oberflächen. Insbesondere Verbindungsschichten aufweisende, plasma-

nitrierte und anschließend polierte Oberflächen besitzen gleichzeitig hohe DLC-Schichthaftfestigkeiten bei vergleichsweise geringen chargenabhängigen Schwankungen. Dies ermöglicht eine Überführung der Erkenntnisse in industrielle Anwendungsfälle.

Jedoch können die Ergebnisse für DLC-Schichtsysteme mit oder ohne Haftschrift auf plasmanitrierten unpolierten Stahloberflächen noch nicht in das industrielle Umfeld transferiert werden. Bei diesen Schichten treten große Schwankungen auf, deren Beherrschung zunächst erreicht werden muss.

Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung des Projekts *Haftungsoptimierte DLC-Schichten durch Konditionierung der Stahloberflächen mittels Plasmanitrieren*; Kennung IWW: LA 1274/56-1 | IOT: BR 2178/54-1

Literatur

- [1] G.J. Van der Kolk; In: C. Donnet, A. Erdemir (Hrsg.): Tribology of Diamond-like Carbon Films. New York; Springer Science + Business Media. 2008, S. 484-493
- [2] M. Weber, K. Bewilogua, H. Thomsen, R. Wittorf: Hochbelastbare kohlenstoffbasierte Mehrschichtsysteme für die Umformtechnik; Vakuum in Forschung und Praxis; 2006, vol. 3, S. 17-23
- [3] R. Hauert: An overview on the tribological behavior of diamond-like carbon in technical and medical applications; Tribology International; 2004, vol. 37, S. 991-1003
- [4] ISO 20523:2017 Carbon based films, Classification and designations
- [5] M. Weber, K. Bewilogua, H. Thomsen, R. Wittorf: Hochbelastbare kohlenstoffbasierte Mehrschichtsysteme für die Umformtechnik; Vakuum in Forschung und Praxis, 2006, vol. 18, no. 3, S. 17-23
- [6] A. Hieke, T. Hurkmans, G. J. Van der Kolk, M. Tobler, R. Bonetti: Comparison between WCC/DLC, CrN/DLC and RF produced DLC coatings, Proc. Annu. Tech. Conf. Soc. Vac. Coaters 2005, S. 556-561
- [7] T. Michler, M. Grischke, K. Bewilogua, H. Dimigen: Properties of duplex coatings prepared by plasma nitriding and PVD Ti-C:H deposition on X20Cr13 ferritic stainless steel; Thin Solid Films, 1998, vol. 322, S. 206-212
- [8] H. Paschke, M. Weber, G. Bräuer, T. Yilkiran, B.-A. Behrens, H. BRAND: Optimized plasma nitriding processes for efficient wear reduction of forging dies; Archives of civil and mechanical engineering, 2012, vol. 12, no. 4, S. 407-412

Oberflächenreinigung mit Plasma- und CO₂-Schneestrahilverfahren

Gut benetzend ist nicht immer sauber!

Teil 2



Zum online-Artikel

Von Volker Bucher¹, Wolfram Kintzel¹, Marvin Schmid¹, Nicolai Simon¹, Maryam Zehtaban² und Günther Schmauz²

Nur mit einer ausreichenden Vorbehandlung – insbesondere einer Vorreinigung zur Entfernung von unterschiedlichen Arten an Schmutz oder störenden Stoffen – ist es möglich, die gewünschte Funktion oberflächenbehandelter Bauteile zu erzielen. Zu den abzureinigenden Stoffen zählen je nach Art des Grundwerkstoffes meist Hilfsstoffen wie Schneidöle/-emulsionen, Tiefziehfette, Wachse oder Polier-pasten, aber auch Rückstände aus der Werkstoffbearbeitung wie Späne. Für den Vergleich der beiden Verfahren Plasmareinigung und CO₂-Schneestrahlsreinigung wurden Kombinationen von unterschiedlichen Verunreinigungen und Grundwerkstoffen gereinigt und die erzielten Ergebnisse mit verschiedenen Verfahren der Reinheitsprüfung bewertet. Es zeigt sich hierbei, dass je nach Art der Verunreinigung und des Substrats eine Reinigungstechnologie ausreichend ist, darüber hinaus aber auch die Kombination der beiden Verfahren im Hinblick auf die Reinigungsqualität empfohlen werden kann.

5 Studie zur Kombination von Atmosphärenplasma-Reinigung und CO₂-Schneestrahlsreinigung

Die Atmosphärenplasma-Feinstreinigung von Teilen aus Metall, Aluminium, Kunststoff oder Glas ist ein seit längerem industriell etabliertes Verfahren. Dabei werden Partikel und organische Stoffe entfernt. Auch die CO₂-Schneestrahlsreinigung ist ein verbreitetes, etabliertes Verfahren, das durch eine Kombination aus thermischem, mechanischem, Sublimations- und Lösemittel-effekt partikuläre und filmische Verunreinigungen entfernt. Bisher gibt es jedoch keine Erfahrungen mit der Kombination beider Verfahren, was anlagentechnisch relativ einfach zu realisieren wäre. Ziel der vorliegenden Studie war die Klärung der Frage, ob eine Kombination der beiden Verfahren hinsichtlich des Reinigungsergebnisses Vorteile bietet und damit das Einsatzspektrum erweitert werden kann. Dazu wurden eine Reihe von Reinigungsversuchen mit verschiedenen Substraten und definierten Verunreinigungen durchgeführt. Im Folgenden werden die gewählten Testmaterialien, die aufgetragenen Verschmutzungen sowie auch die Parameter der beiden Reinigungsmethoden dargelegt. Des Weiteren werden die erhaltenen Messmethoden für die Oberflächenbenetzbarkeit (Randwin-

kelmethode) und Sauberkeit (EDX/EDS sowie Fluoreszenzmessung) erläutert. Da hier einige hundert Messwerte für die vielen Kombinationen aus Substratmaterial und Verschmutzungen angefallen und ausgewertet wurden, kann hier aus Platzgründen nicht die Gesamtheit der Ergebnisse dargestellt werden. Es werden aber exemplarisch einige Ergebnisse der EDX/EDS-Messung gezeigt und es wird ein Überblick über die Korrelation zwischen Randwinkel-messung und der Sauberkeit aus Fluoreszenzmessung gegeben.

5.1 Substrate und Testverschmutzungen

Als Testobjekte wurden folgende Materialien herangezogen:

- Aluminium blank, unbehandelt, Dicke 1,0 mm
- Aluminium eloxiert, Dicke 10 mm
- Leiterplatte mit Kupferbahnen, drei Schichten, Dicke 1,6 mm
- Industrieglas, Dicke 3,0 mm
- PP schwarz, Dicke 3,0 mm
- Edelstahl 1.4301, Dicke 5,3 mm

Zur Herstellung einer definierten Verunreinigung wurden folgende Testsubstanzen verwendet:

- WD 40 (Kriechöl)
- Schmieremulsion
- Minimalmengenschmierung (MMS)
- Elektrolytlösung
- Handcreme (Kamill Hand- und Nagelcreme, Burnus GmbH)

Die Testsubstanzen wurden auf die verschiedenen Substrate in einer kleinen, jeweils etwa gleichen Menge aufgetragen und auf eine Fläche von etwa 2 cm² gleichmäßig verteilt.



Abb. 4: CO₂-Schneestrahls-Anlage der acp AG

5.2 Anlagenparameter CO₂-Reinigung

Bei der verwendeten Strahlanlage zur Reinigung mit Kohlenstoffdioxid handelt es sich um einen Prototyp der acp AG, Baujahr 2005 (Abb. 4). Eingesetzt war eine Kapillare mit einem Durchmesser von 0,35 mm. Die Proben wurden mittels Federklammern an einem programmierbaren xyz-Tisch fixiert. Die Anlage wurde mit folgenden Anlagenparametern betrieben:

- CO₂ Druck: 57 bar
- Druckluft Arbeitsdruck: 11 bar
- Bahnabstand: 3 mm

¹ Hochschule Furtwangen, Institut für Mikrosystemtechnik (iMST) / Forschungszentrum Rottweil, Neckartal 142, D-78628 Rottweil

² acp systems AG, Berblingerstraße 8, D-71254 Ditzingen

OBERFLÄCHEN

- Abstand Düse – Probe: 50 mm, 60 mm oder 70 mm
- Geschwindigkeit: 60 mm/s oder 100 mm/s
- Auftreffwinkel: 90°

5.3 Anlagenparameter Atmosphärenplasma-Reinigung

Bei der Reinigung mittels Atmosphärendruckplasma wurde eine Anlage mit einem Plasmagenerator der Plasmatrete, Typ FG5001, mit einer Rotationsdüse RD1004 eingesetzt (Abb. 5). Für den Betrieb standen folgende Anlagenparameter zur Verfügung:

- Generatorleistung: 1 kW
- Druckluft Arbeitsdruck: 3 bar
- Anzahl Zyklen: 1 oder 3
- Anzahl Bahnen: 3
- Vertikaler Abstand: 15 mm, 30 mm oder 40 mm
- Geschwindigkeit: $v_1 = 2000 \text{ mm/min}$,
 $v_2 = 500 \text{ mm/min}$ oder 600 mm/min

5.4 Messung - Kontaktwinkel

Die Messung des Kontaktwinkels erfolgte mit einem Kontaktwinkelmessgerät des Herstellers Dataphysics, Typ OCA 200 (Abb. 6), nach der Norm DIN EN ISO 19403. Als Prüfmedium wurde deionisiertes Wasser verwendet, das Probenvolumen war $2,5 \mu\text{L}$ und die Auftraggeschwindigkeit $1,0 \mu\text{L/min}$. Die Berechnung des Kontaktwinkels erfolgte softwaregestützt. Es wurde jeweils der Mittelwert aus drei bis 13 Einzelmessungen gebildet und für die Auswertung verwendet (Abb. 7 und 8).

5.5 Messung – Fluoreszenzintensität

Die Messung der Fluoreszenzintensität erfolgte berührungslos und zerstörungsfrei mit einem mobilen Messgerät CleanoSpector der SITA Messtechnik GmbH, Dresden (Abb. 9). Der CleanoSpector wird kommerziell zur Kontrolle der Sauberkeit von verschiedensten, vor allem metallischen Bauteilen verwendet. Erfasst werden organische Stoffe, die entweder aromatische oder ungesättigte Anteile (Doppelbindungen) enthalten, wie zum Beispiel Ester, Ketone oder Carbonsäuren. Es wird ein relativer Wert angezeigt, der umso niedriger ist, je sauberer die Oberfläche ist. Der Messwert kann zwischen 0 und etwa 3000 Einheiten liegen. Der Messabstand betrug bei den durchgeführten Untersuchungen etwa 5 mm bei einem Durchmesser des Messpunkts von etwa 1 mm. Die Anregung erfolgt bei 365 nm, die Detektion bei 460 nm (Herstellerangaben). Das Messergebnis ist abhängig von der Schichtdicke und kann bei

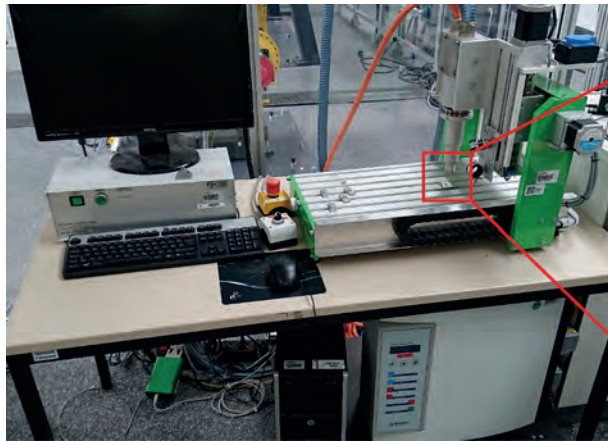


Abb. 5: Atmosphärenplasmaanlage mit Plasmatrete-Generator

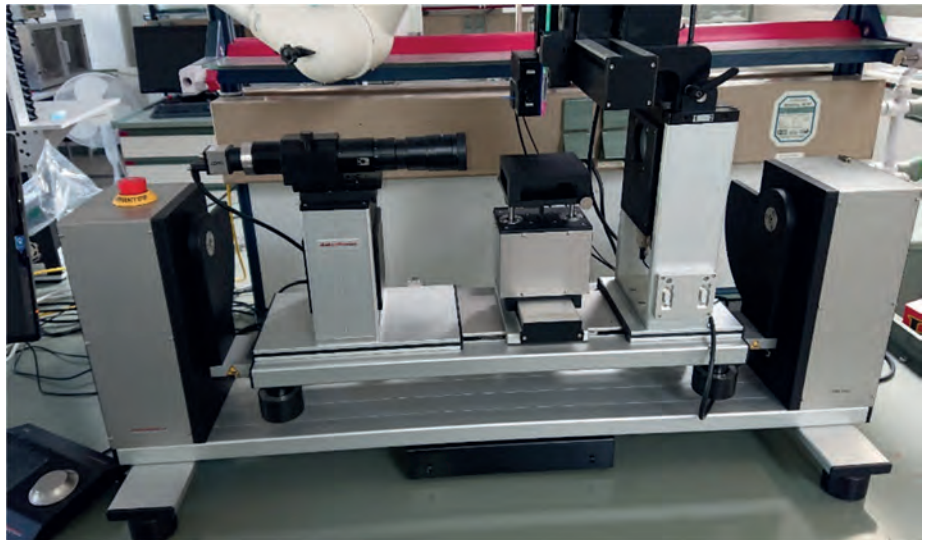


Abb. 6: Kontaktwinkelmessgerät Dataphysics OCA 200

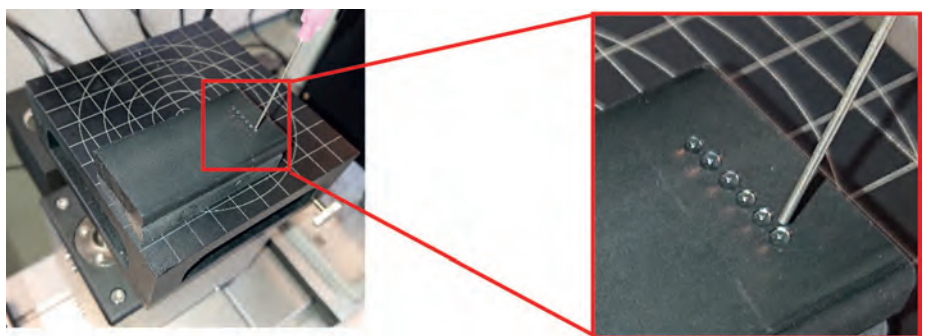


Abb. 7: Kontaktwinkelmessung an einer Elastomerprobe

Änderungen des Messabstands variieren. Umgebungslicht kann das Messergebnis geringfügig beeinflussen.

5.6 Messung – Element- zusammensetzung mittels EDX

Die Elementzusammensetzung an der Oberfläche der Probe wurde mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX) untersucht. Verwendet wurde dabei ein Rasterelektronenmikroskop (REM) Philips XL30 ESEM mit zusätzlichem EDX-Detektor (Abb. 10). Die

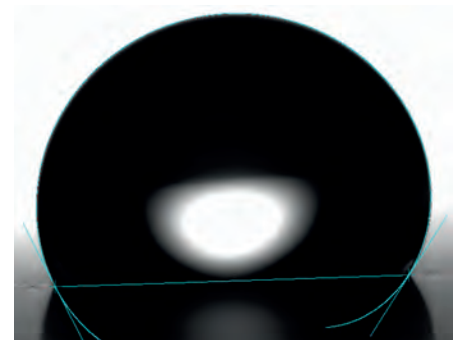


Abb. 8: Bild eines gemessenen Wassertropfens mit Tangenten und berechneten Kontaktwinkeln

Das unabhängige Galvaniklabor

Oberflächen

Schichtdicken, Mikroskopik,
Rauigkeitsmessungen

Flüssigkeiten

Badanalyse, Hullzelle

Funktion

Lötprüfung, Passivierungstest
Alterung, Whisker



METATLAB
Hull-Bleche & Zubehör

Der Shop Rund um die Hull-Zelle

Top-Qualität

Extrem plan für optimale Testergebnisse,
minimalste Toleranzen für optimale Anpassung

Top-Service

Umfassende Galvanik-Erfahrung und Knowhow

Funktion

Spezialisierte Produktpalette, sichere Abrechnung,
zuverlässige Lieferung, persönlicher Kontakt



Abb. 9: CleanoSpector-Messgerät zur Bestimmung der Fluoreszenzintensität



Abb. 10: Rasterelektronenmikroskop (REM) mit EDX-Detektor

Nachweisgrenze liegt bei diesem Verfahren typischerweise bei 0,1 Gew.-% für Elemente mit einer Ordnungszahl > 11. Die Eindringtiefe der Röntgenstrahlen beträgt etwa 0,1 µm bis 2 µm; oberflächliche Verunreinigungen konnten deshalb nur punktuell bestimmt werden.

6 Kombination der Verfahren – Ergebnisse

In der Kombination der beiden Reinigungsverfahren wurde bei den Versuchen im ersten Schritt mit CO₂-Schneestrah und unmittelbar danach mit Atmosphärenplasma gereinigt.

6.1. EDS/EDX-Messungen

Die für die Untersuchungen herangezogenen Leiterplatten mit Kupferbahnen wurden für die Messungen mittels EDX in folgenden Zuständen untersucht:

- unbehandelt (Referenz) (Abb. 11)
- mit Schmieremulsion, gereinigt mit CO₂-Schneestrah, ohne sichtbare Rückstände

- verschmutzt mit Schmieremulsion, gereinigt mit CO₂-Schneestrah + Plasmareinigung, Rückstand visuell erkennbar
- verschmutzt mit Elektrolytlösung, gereinigt mit CO₂-Schneestrah, Rückstand visuell erkennbar
- verschmutzt mit Elektrolytlösung, gereinigt mit CO₂-Schneestrah + Plasmareinigung, Rückstand visuell erkennbar
- verschmutzt mit Handcreme, gereinigt mit CO₂-Schneestrah + Plasmareinigung, ohne sichtbare Rückstände

Lesen Sie weiter unter womag-online.de

WOMag-online-Abonnenten steht der gesamte Beitrag zum Download zur Verfügung. Im Weiteren sind die Ergebnisse der Messungen aufgeschlüsselt, erläutert und vergleichend gegenübergestellt. Der Gesamtumfang des Beitrags beträgt etwa 5,3 Seiten mit 12 Abbildungen und 1 Tabelle.

Ein Meilenstein bei Thoma: EHLA-Technologie implementiert

Die Geschäftsführerin der Thoma Metallveredelung Andrea Thoma-Böck spricht mit der Redaktion der WOMag über die Einführung des EHLA-Verfahrens und die weitere Entwicklung der Beschichtungstechnologie.

Themen wie Effizienz, Energie- und Rohstoffeinsparung oder Umweltschutz haben in den vergangenen Jahren zu einer rasanten technischen Entwicklung geführt, auch in den Bereichen der Werkstoff- und Oberflächentechnik. Zu den wegweisenden Unternehmen der Oberflächentechnik im Hinblick auf die Entwicklung neuer Prozesstechniken zählt die Thoma Metallveredelung in Heimertingen bei Memmingen. Bereits seit vielen Jahrzehnten zeichnet sich das Unternehmen mit Schwerpunkt auf der galvanischen Metallabscheidung immer wieder durch richtungsweisende Neuerungen, vom Umweltschutz über Energieeinsparung bis hin zu Technologien wie der Metallabscheidung mittels Reaktortechnik, aus.

Das bayrisch-schwäbische Unternehmen Thoma Metallveredelung GmbH blickt dabei auf eine beeindruckende Erfolgsgeschichte zurück, die auf über 99 Jahren Erfahrung und kontinuierlicher Entwicklung von innovativen Beschichtungen basiert. Nachhaltigkeit spielt dabei nach Bekunden der Unternehmensleitung eine entscheidende Rolle in der Philosophie des Unternehmens. Als Dienstleister mit einer ganzheitlichen Kundenorientierung ist Innovation der treibende Faktor bei Thoma. Das Unternehmen ist stets offen für neue Herausforderungen und Aufgabenstellungen, insbesondere im Bereich von neuen Beschichtungstechnologien.

Eine solche Aufgabenstellung seitens eines Kunden hat Thoma dazu veranlasst, sich bereits im Jahr 2018 intensiv mit einer neuen Technologie im extremen Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen, kurz EHLA, zu befassen. Das Unternehmen beauftragte erste Versuche bei einem führenden Forschungsinstitut auf dem Gebiet der Lasertechnologie und unterstützte darüber hinaus eine Masterarbeit, die ebenfalls erfolgversprechende Ergebnisse lieferte.

Das Interesse an der Technologie war so groß, dass Thoma eine übergreifende Kooperation mit Kunden und einem Forschungsinstitut zur Einführung der Technologie einging. Dies führte im Jahr 2020 zur Entscheidung, in eine EHLA-Anlage zur Beschichtung von Bauteilen bis zu einer Länge von sechs Metern zu investieren. Die Anlage wurde im Jahr

2021 geliefert, aufgestellt und erfolgreich getestet. Inzwischen wird die Technologie für Kundenaufträge regelmäßig eingesetzt.

Die Redaktion der WOMag erhielt im Zuge der Bekanntgabe der Einführung der EHLA-Technologie die Möglichkeit, mit Andrea Thoma-Böck, der Geschäftsführerin der Thoma Metallveredelung, zu sprechen.

WOMag: Die Redaktion der WOMag begleitet die Branchen rund um die Oberflächentechnik seit vielen Jahren mit Neuigkeiten und Entwicklungen auf diesem Gebiet. Sie haben nun mit der Inbetriebnahme einer großen Anlage zum extremen Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen, abgekürzt EHLA, wieder einmal Neuland betreten. Dazu möchten wir Ihnen zunächst gratulieren. Uns interessiert natürlich, wann die Thoma Metallveredelung erstmals auf die Möglichkeiten zum Laserauftragschweißen aufmerksam wurde und durch wen?

A. Thoma-Böck: Die Technologie fiel uns erstmals im Zeitraum 2017/2018 durch einen Artikel in einem Fachjournal auf. Damals wurde EHLA vor allem im Bereich des Maschinenbaus für Oberflächen mit höherem Verschleiß angedacht, bei denen unterschiedliche Stahlwerkstoffe zur Anwendung kamen.

WOMag: Dies war ja auch der Zeitraum, in dem mit großem Aufwand an der Umsetzung der Anforderungen aus der europäischen Chemikalienverordnung REACH gearbeitet wurde. Ein wichtiger Punkt dieser Arbeiten war und ist die Suche nach möglichen Alternativen zu Hartchrom. Dies beinhaltet auch die Festlegung der Eigenschaft von Oberflächen und daraus folgend die Ermittlung der tatsächlich notwendigen Leistungen einer Beschichtung. Daraus ergibt sich dann die Frage, wie stark hat REACH die Entscheidung zur Einführung von EHLA beeinflusst?

A. Thoma-Böck: Thoma ist stets offen für neue Herausforderungen und Aufgabenstellungen, insbesondere

im Bereich von neuen Beschichtungstechnologien. Natürlich hat REACH im Zuge der Substitutionsplanung auch dazu beigetragen, das Thema weiter voranzutreiben. Es hat aber die Entscheidungen, sich mit einer vollständig neuen Art der Beschichtung zu befassen, nur mit unterstützt – REACH stand dabei jedoch nicht im Vordergrund.

WOMag: Wurde die Entscheidung zur Einführung von EHLA allein von der Thoma Metallveredelung getroffen oder gab es Kundennachfragen nach EHLA-Schichten?

A. Thoma-Böck: Die Entscheidung lag allein bei Thoma. Selbstverständlich sind wir im Zuge der Marktanalyse auch mit Kunden ins Gespräch gegangen. Im Allgemeinen betreiben Kunden umfangreiche Planungen über den Einsatz von Oberflächen beziehungsweise Schichten, die weitreichende Prüfungen beinhalten. Dadurch erfordert die Einführung von neuen Beschichtungen längere Zeiträume, weshalb wir hier in Vorleistung gehen und unseren Kunden so die Möglichkeiten zur Durchführung von entsprechenden Prüfungen bieten. Thoma ist bereits Kooperationen und Entwicklungsprojekte mit diversen Kunden eingegangen und hat durchgeführte Beschichtungen analysiert. So werden laufend neue Erkenntnisse gewonnen und der Kompetenzvorsprung des Unternehmens wird weiter ausgebaut.

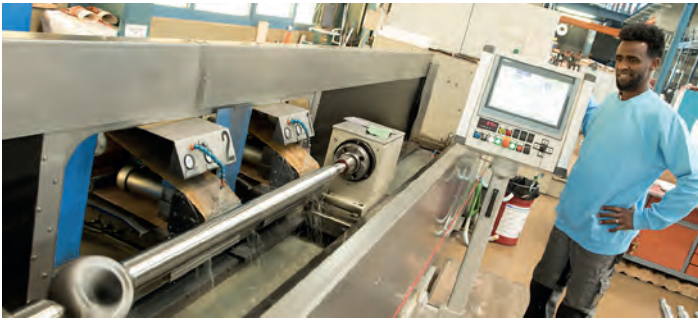
WOMag: Haben sich Kunden an den erforderlichen Entwicklungsarbeiten zur Einführung von EHLA bei der Thoma Metallveredelung beteiligt?

A. Thoma-Böck: Ja, eine solche Aufgabenstellung von Kundenseite hat Thoma ebenfalls dazu veranlasst, sich intensiv mit der EHLA-Technologie zu befassen. Wir stellen mit Freude fest, dass das kundenseitige Interesse groß und stetig wachsend ist.

WOMag: Welche Eigenschaften zeichnen die bei Thoma hergestellten EHLA-Schichten aus?

A. Thoma-Böck: Mit dem EHLA-Beschichtungsverfahren können besonders präzise, riss-





Thoma-Geschäftsführung Andrea Thoma-Böck (links) und Christine Thoma-Kemser mit Robert Rohn (Vertrieb), Hannes Kircher (Techn. Leitung) und Reiner Kiefer (Betriebsleitung) (v.l.n.r.)

Ein wichtiger Tätigkeitsbereich der Thoma Metallveredelung ist die Herstellung von hochwertigen Oberflächen auf Hydraulikteilen unter Nutzung modernster Anlagentechnologie

und porenfreie Schichten mit einer Dicke zwischen 25 µm und 350 µm aufgetragen werden. Dadurch werden sehr gute Korrosionsschutzeigenschaften erzielt und zudem werden sehr hohe Prozessgeschwindigkeiten erreicht. Außerdem liegt ein hoher Materialnutzungsgrad von bis zu 95 Prozent vor, was wiederum eine Steigerung der wirtschaftlichen Produktivität erlaubt. Dadurch wird diese Beschichtung zu einer nachhaltigen, energieeffizienten und ressourcenschonenden Ergänzung unseres bestehenden Lieferprogramms.

Die Stärken einer EHLA-Schicht liegen jedoch nicht nur im Korrosions- und Verschleißschutz neuer Bauteile, sondern auch in der Reparatur und der additiven Fertigung – alles

mit einer Systemtechnik, womit die Technologie eine sehr hohe Flexibilität besitzt.

WOMag: Welche Werkstoffe werden bei der Thoma Metallveredelung mittels EHLA aufgetragen?

A. Thoma-Böck: Die Art des aufgetragenen Werkstoffs richtet sich natürlich nach den Kundenanforderungen. Zu den Vorzügen des Verfahrens zählt aber, dass prinzipiell jede Materialkombination möglich ist. Dieser Punkt muss und wird gemeinsam mit dem Kunden und dessen Anforderungen erarbeitet.

WOMag: Lässt sich die Werkstoffauswahl einfach erweitern und wenn ja, wie geht Thoma hierbei vor?

A. Thoma-Böck: Die Werkstoffauswahl und der Einsatz eines Werkstoffs erfordern Tätigkeiten, die üblicherweise der einer klassischen F&E-Tätigkeit entsprechen. Sowohl das Wissen um Technik und Beschichtung, als auch die Werkstoffauswahl müssen erarbeitet werden. Hier sind wir im engen Kontakt mit den am Markt aktiven Pulverherstellern. Diese haben in der Regel bereits umfangreiches Basiswissen aus den verschiedenen additiven Herstellverfahren, also der allgemein als 3D-Druck bekannten Methode zur Herstellung dreidimensionaler Teile. Auch hier gilt prinzipiell wie bei einer EHLA-Beschichtung, dass nahezu alle Materialkombinationen denkbar sind. Dies macht EHLA zu einem überaus innovativen Beschichtungssystem.

WOMag: Zum Teil war in den vergangenen Jahren zu hören, dass EHLA eine Alternative zu Hartchrom sein könnte. Wie lassen sich die EHLA-Schichten im Vergleich zu Hartchromschichten charakterisieren?

A. Thoma-Böck: Wir bei Thoma sehen EHLA als Ergänzung beziehungsweise Erweiterung zu Hartchrom. Dies liegt vor allem auch daran, dass die EHLA-Schichten eben genau keine galvanisch abgeschiedenen Schichten sind. Bei ihnen handelt es sich um einen festen Materialverbund durch Aufschmelzung und Aufschweißen von Grundwerkstoff und Pulver. Zudem bietet die große Breite an einsetzbaren Materialien bei EHLA die Basis dazu, dass die Schichteigenschaften über einen großen Bereich in ihren Eigenschaften variieren und damit auch einstellbar sind.

WOMag: Vermutlich ist der Nacharbeitsaufwand bei den EHLA-Schichten deutlich höher als bei Hartchromschichten. Wie stellt die Thoma Metallveredelung sicher, dass die Schichten ähnlich wie von Hartchrom her bekannt genutzt werden können?

A. Thoma-Böck: Nun, zunächst ist nochmals festzuhalten, dass die mit EHLA erzeugten Schichten nicht als Ersatz, sondern als Ergänzung zu Hartchromschichten zu sehen sind. Bei einer Nacharbeit der EHLA-Schichten wird lediglich eine mechanische Bearbeitung nötig sein. Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristika der beiden Beschichtungs-

OBERFLÄCHEN

systeme – Hartchrom und EHLA-Schicht – lassen sie sich nicht direkt vergleichen.

Zu betonen ist, dass im Hinblick auf den Reparaturmarkt sich mit dem EHLA-Verfahren ganz neue, nachhaltige und wirtschaftliche Wege auftun. Dies ergibt sich beispielsweise aus der deutlich einfacheren Art, verschlissene Bereiche eines Bauteils partiell mit geeigneten Werkstoffen aufzufüllen und so schnell und effizient eine Reparatur auszuführen.

WOMag: Wie hoch ist der Aufwand zur Sicherstellung des Beschichtungsprozesses von EHLA, zum Beispiel im Vergleich zum Hartchromverfahren?

A. Thoma-Böck: Die Anlagentechnik insgesamt ist trotz der Notwendigkeit, sich bei EHLA mit einer für die Galvanotechnik neuen Prozesstechnik auseinanderzusetzen zu müssen, deutlich kompakter und gleichzeitig gut beherrschbar. Des Weiteren benötigt EHLA zum Beispiel keine Analysen wie sie für die galvanischen Elektrolyte notwendig sind. Auch kann die Ablufttechnik deutlich einfacher gestaltet werden, ebenso wie alle Belange der Arbeitssicherheit. Es liegen eine ganze Reihe von Vorteilen gegenüber der klassischen Galvanotechnik vor.

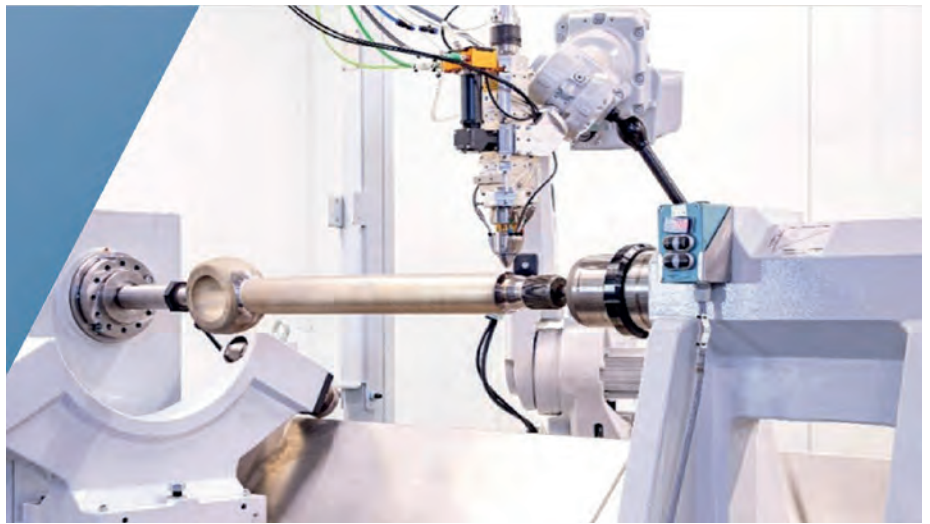
WOMag: Stellt die Sechs-Meter-EHLA-Anlage der Thoma Metallveredelung eine Besonderheit auf dem Beschichtungsmarkt dar?

A. Thoma-Böck: Hier kann ich nur für Thoma und vergleichbare galvanische Beschichtungsunternehmen, soweit ich deren Ausstattung kenne, sprechen. Für Thoma stellt die Technologie eine Erweiterung für das Lieferprogramm dar.

WOMag: EHLA eignet sich besonders für rotationssymmetrische Teile, plant Thoma auch die Beschichtung von anderen Teilearten?

A. Thoma-Böck: Die bestehende Anlage kann in erster Linie rotationssymmetrische Bauteile bearbeiten. Andere Teilegeometrien erfordern Änderungen in der Hard- und/oder Software der Anlage. Aber auch hier möchte ich auf die Erfahrungen der nahezu hundertjährigen Geschichte der Thoma Metallveredelung verweisen: Wir wachsen mit den Anforderungen unserer Kunden. Zudem gehen wir mit unseren Kunden den Weg der Entwicklung von Schichtkombinationen und freuen uns auf jede Aufgabenstellung, wie wir das immer getan haben.

WOMag: Eine Frage, die in den letzten Jahren im Zusammenhang mit den Veränderungen durch die REACH-Verordnung bei Unternehmen im Bereich der Galvanotechnik immer wieder aufgetaucht ist, betrifft die Zukunft der galvanotechnischen Verfahren. Plant die



Mit der neuen EHLA-Anlage erweitert die Thoma Metallveredelung ihr Angebot an hochwertigen Beschichtungen auf rotationssymmetrischen Bauteilen

Thoma Metallveredelung längerfristig, das Angebot an Hartchrom einzustellen?

A. Thoma-Böck: Diese Frage kann ich nur mit einem klaren Nein beantworten. Die Eigenschaften einer Hartchromschicht sind – nach unserem Kenntnisstand – derzeit technisch mit keinem anderen Verfahren vollumfänglich zu reproduzieren. Hartchrom ist wie ein *Breitbandantibiotikum*, um einen Vergleich aus der Medizin heranzuziehen, für welches es aktuell nur in Teilbereichen Ersatztechnologien gibt.

Als Lohngalvanik mit ständig wechselnden Produkten und Kunden haben wir alle Kundenanforderungen zu erfüllen. Letztendlich bestimmen unsere Auftraggeber, welche Oberfläche ihre Teile benötigen. Sie müssen erstens gewillt sein, diesen Weg mitzugehen. Zweitens bedingt eine Umstellung – falls möglich – Zeit zur Implementierung, weil in der Regel umfangreiche Tests und Freigabeprozesse dafür notwendig sind. Bei sicherheitsrelevanten Teilen kann dies viele Jahre in Anspruch nehmen. Zudem ist die wirtschaftliche Komponente zu berücksichtigen.

Unsere Hartchromanlagen sind auf dem neuesten Stand der Technik, erfüllen alle

Arbeitsschutz- und Umweltstandards und darüber hinaus. Mit unserem Einzelautorisierungsantrag bieten wir unseren Kunden eine langfristige Planungssicherheit für Hartchrom.

WOMag: Und natürlich die Frage aller Fragen für viele Unternehmen in allen Branchen nach den Kosten: Wie hoch waren die notwendigen Investitionen für die Thoma Metallveredelung?

A. Thoma-Böck: Diese lagen für die bisherigen Neuerungen etwa im siebenstelligen Bereich. Aktuell investiert Thoma in ein neues Messlabor, um Schliffanalysen und Auswertungen für Schichten und Schichtsysteme, die mit der EHLA-Technologie aufgebracht werden, durchführen zu können.

WOMag: Frau Thoma-Böck, wie Sie mit Ihren Ausführungen sehr überzeugend belegt haben, hat Ihr Unternehmen mit Einführung der EHLA-Technologie neues Terrain betreten und bestätigt damit erneut die Innovationskraft der Thoma Metallveredelung. Wir danken Ihnen für das Gespräch und wünschen Ihnen viel Erfolg mit der neuen Technologie!

➔ www.thoma-metallveredelung.de

Hochleistungs-Kaltgasbeschichten etabliert sich

Von Dr. Reeti Singh, Ján Kondás, Max Meinicke, Leonhard Holzgaßner und Dr. Sascha Bernhardt

Seit der Veröffentlichung der Euro-7-Norm ist die Beschichtung von Bremsscheiben zur Reduktion der Feinstaubbelastung in aller Munde. Das Unternehmen Impact Innovations GmbH aus Rattenkirchen nimmt hierbei eine führende Rolle ein. Die IMPACT-Kaltgasbeschichtungen sind inzwischen für Bremsscheiben von mehreren OEMs technisch qualifiziert. Daher wird die IMPACT-Kaltgasbeschichtungstechnologie derzeit von diesen für die Serienproduktion evaluiert.

Parallel zur Bremsscheibenbeschichtung läuft die Serienproduktion für weitere Anwendungen in der Automobilindustrie bereits an. Nachdem mit dem absehbaren Ende von Verbrennungsmotoren die Nachfrage an der Beschichtung von Zylinderlaufflächen stark abnimmt, entstehen neue Anwendungsfelder für Elektrofahrzeuge. Die dort verbaute Hochleistungselektronik, sogenannte IGBT-Module, bedürfen einer effizienten Kühlung. Das Hochdruck-Kaltgasbeschichten liefert hierfür eine beeindruckende Lösung. Auf Aluminiumkühlplatten aufgespritzte Kupferbeschichtungen bieten einen optimalen Wärmeübergang. Beim Kaltgasspritzen entsteht keine Oxidation im Prozess und es wird nach dem IACS-Standard eine elektrische Leitfähigkeit von bis zu 98 Prozent erzielt.

Darüber hinaus steigt die Nachfrage nach induktionsfähigen Beschichtungen für Kochgeschirr bei Impact Innovations stark an. Mehrere Großkunden vom Qualitätsanbieter aus dem oberen Leistungssegment bis zum Low-Cost-Anbieter für Massenware setzen immer mehr auf Kaltgasbeschichtungen von Impact Innovations. Selbst in der Raumfahrt bahnt

sich die additive Fertigung von Brennkammern und Raketendüsen durch den Kaltgasprozess in Kleinserien an.

Bremssenbeschichtung zur Feinstaubreduktion

Bremsscheiben aus Grauguss sind nicht nur günstig in der Herstellung, sondern sie verfügen auch über alle notwendigen mechanischen Eigenschaften. Grauguss mit eingebettetem Graphit ist der gängigste Werkstoff, aus dem Bremsscheiben hergestellt werden. Schlechte Korrosionsbeständigkeit und übermäßiger Verschleiß der Bremsscheibe während des Betriebs sind jedoch die Hauptproblembereiche. Bremsscheiben sind extrem hohen Belastungen ausgesetzt und gehören zu den am stärksten beanspruchten Teilen eines Fahrzeugs. Sie müssen nicht nur aufgrund des hohen Verschleißes in relativ kurzen Abständen ausgetauscht werden, sondern der Verschleiß stellt auch eine starke Belastung der Umwelt dar.

Da für Kfz-Bremsscheiben aus Kostensicht noch kein anderer Werkstoff mit Grauguss konkurrieren kann, stellt die Beschichtung dieser Bremsscheiben eine praktikable und kostengünstige Lösung dar. Herkömmliche thermische Beschichtungsverfahren sind jedoch noch sehr material- und kostenintensiv und die geforderten Eigenschaften hinsichtlich Schichthaftung, Korrosionsbeständigkeit und Rissverhalten können nicht erfüllt werden. Dank verbesserter Abgasreinigung kann bei modernen Autos eine Reduzierung der Abgasemissionen erreicht werden. Allerdings wird immer noch vernachlässigt, wie viel Feinstaub durch den Abrieb von Reifen und Bremsen entsteht. Gut die Hälfte des Feinstaubs im deutschen Straßenverkehr wird durch Reifen- und Straßenabrieb verursacht, ein weiteres Viertel durch Abrieb von Bremsbelägen. Emissionen aus dem Bremsenverschleiß wie Brems- oder Feinstaub sind für die Automobilindustrie aufgrund von strengeren und umweltfreundlicheren EU-Vorschriften (Euro 7) ein wachsendes Problem.

Bei einer Hochleistungs-Kaltgasbeschichtung mit dem IMPACT-Cold Spray System EvoCSII kommt es zu keiner Delamination oder starker Rissbildung in der Beschichtung und die Partikelemission wird um bis zu 90 Pro-



Hochleistungs-Kaltgasbeschichtung von Impact Innovations für Bremsscheiben

zent reduziert. Das Kaltgasspritzverfahren überzeugt gegenüber anderen Beschichtungstechnologien durch seine Einfachheit, Leistungsstärke und geringen Kosten. Die Leistung der Beschichtung wurde hinsichtlich Korrosionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit und Zughaftfestigkeit zwischen der Beschichtung und der Bremsscheibe bewertet. Die kaltgasgespritzte Verbundbeschichtung auf Bremsscheibe aus Grauguss zeigte im SAE J2522-Test eine Verschleißminderung von 95 Prozent. Zudem weist die Beschichtung auch nach extrem anspruchsvollen Prüfstandsläufen eine hervorragende Haftung ohne Delamination auf. Darüber hinaus wurden 720 Stunden Salzsprühnebeltest erfolgreich ohne jegliche Korrosion absolviert.

Da es sich um einen kalten Prozess handelt, gibt es keinen thermischen Verzug in der Grundscheibe und der Schichtaufbau zeichnet sich durch seine Gleichmäßigkeit aus. So können immer die selben Prozessparameter verwendet werden, unabhängig von den Abmessungen und der Form der Bremsscheiben. Dadurch können die Schichtdicke auf ein Minimum reduziert und die notwendigen Kosten für das anschließende Schleifen minimiert werden. Eine Bremsscheibe in Standardausführung kann auch im Einschichtsystem (ohne Zwischenschicht) in weniger als 30 Sekunden beschichtet werden. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen eine kostengünstige und ressourcenschonende Lösung für die Bremsscheibenanwendung mit kaltgasgespritzten Verbundbeschichtungen, die allen Anforderungen standhält.

➔ <https://impact-innovations.com>



Induktionsfähige Kaltgasbeschichtung für Kochgeschirr von Impact Innovations

Simultan arbeitende Hochtechnologie spart Kosten und schont die Umwelt

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT hat das sogenannte SMaC-Verfahren entwickelt, ein neues Beschichtungsverfahren, das Laserauftragschweißen und mechanische Bearbeitung kombiniert. Hochfeste Beschichtungswerkstoffe können so schnell und effizient aufgetragen und simultan zerspanend bearbeitet werden. SMaC ermöglicht damit die Herstellung von Bauteilen mit verlängerter Lebensdauer und erweiterten Einsatzzyklen.

Beschichtungen sind eigentlich wie Hidden Champions: Sie werden kaum wahrgenommen und leisten dennoch Großartiges. Sie tragen dazu bei, Bauteile vor unterschiedlichsten Arten von Schäden und Verschleiß zu schützen. Beschichtungen verbessern die physikalischen oder chemischen Eigenschaften von Bauteiloberflächen oder verleihen ihnen bestimmte Funktionen. Sie können auch dazu beitragen, Energie zu sparen, indem eine Beschichtung isoliert oder reflektiert.

Ein neues, patentiertes Kombinationsverfahren, das am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT entwickelt wurde, verbessert die Energiebilanz darüber hinaus auf eine weitere Art, das sogenannte simultane Beschichten und Zerspanen (Englisch: Simultaneous Machining and Coating, kurz SMaC). *Wir haben die mechanische Bearbeitung mit dem Extremen Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (EHLA) in einem Bearbeitungsschritt kombiniert*, erklärt Viktor Glushych, Leiter der Gruppe Beschichtung LMD und Wärmebehandlung am Fraunhofer ILT. *Damit verkürzen wir die Bearbeitungszeiten erheblich.* Je nach Anforderungsprofil und Beschichtungswerkstoff kann die Prozessdauer um mehr als 60 Prozent reduziert werden.

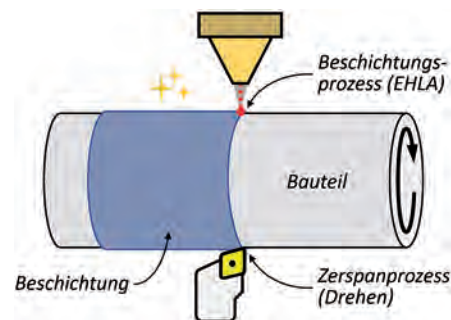
SMaC löst ein grundlegendes Problem von hochfesten Schutzschichten gegen Korrosion und Verschleiß: Je härter die Beschichtung, desto besser der Schutz, aber desto aufwändiger auch die Bearbeitung. Der Clou bei

SMaC ist, dass es die im EHLA-Prozess entstehende Prozesswärme nutzt.

Unmittelbar nach dem Laserauftragschweißen besitzen die Beschichtungswerkstoffe bei mehreren Hundert Grad Celsius Restwärme nur einen Bruchteil ihrer Härte. In der mechanischen Bearbeitung, die zeitparallel stattfindet, verschleißt das Werkzeug somit erheblich weniger und arbeitet gleichzeitig schneller. Mit SMaC können die Forschenden korrosions- und verschleißbeständige Beschichtungen wirtschaftlich aufbringen. *Wir erzielen signifikant höhere Oberflächenqualitäten und potenziell höhere Werkzeugstandzeiten als mit der üblichen, sequenziellen Bearbeitung*, verdeutlicht Glushych. Im EHLA-Prozess können hochfeste Beschichtungswerkstoffe verarbeitet werden – sogar Hochentropielegierungen oder metallische Gläser, die mit konventionellen Methoden kaum mechanisch bearbeitet werden können.

SMaC erlaubt eine hochproduktive, wirtschaftliche und vielseitige Beschichtung von Bauteilen. Das neue Verfahren ist aber auch unter ökologischen Gesichtspunkten interessant, weil Komponenten deutlich länger unbeschädigt im Einsatz bleiben können und seltener ausgetauscht werden müssen. SMaC verlängert nach Aussage von Glushych entscheidend die Lebensdauer, Einsatzzyklen und Wartungsintervalle von Bauteilen, Baugruppen und ganzen Maschinen. Das erhöhe die Rohstoff- und Energieeffizienz der Bauteile und minimiere Maschinenstillstände.

Weniger Ersatzteile bedeuten weniger Rohstoffeinsatz, weniger Wartung, weniger Transport und Lagerhaltung. Für viele Unternehmen erhöht dies die Unabhängigkeit und Planungssicherheit – also eine höhere Resilienz der Produktion. Insbesondere in den letzten Jahren wurden Unternehmen schon häufiger durch sehr lange Lieferzeiten für metallische Funktionsbauteile ausgebremst. SMaC ist laut Glushych effizient, energie-, zeit- und ressourcenschonend. Das Verfahren eignet sich prinzipiell für alle Anwendungen, bei denen bisher Bauteile nacheinander beschichtet und zerspannt wurden. Es lässt sich beispielsweise zur Herstellung von Beschich-



Insbesondere beim Auftragen von schwer zerspanbaren, hochfesten Beschichtungen ergeben sich durch die SMaC-Technologie erhebliche wirtschaftliche und technologische Vorteile (© Fraunhofer ILT, Aachen)

tungen für Korrosions- und Verschleißschutz, Beschichtungen mit hart- und weichmagnetischen Eigenschaften oder zur Herstellung von enorm widerstandsfähigen Gleitlagerbeschichtungen und weiteren funktionalen Oberflächen einsetzen.

Anwendungen finden sich beispielsweise in der Energiewirtschaft und der gesamten Mobilitätsbranche, überall, wo hoch belastete, rotationssymmetrische Bauteile zum Einsatz kommen. In der chemischen Industrie beispielsweise müssen Oberflächen aggressiveren Medien standhalten. Im Bergbau oder bei Werkzeugen schützt SMaC erfolgreich gegen Verschleiß. Die Anwendungsbereiche sind zahlreich und vielfältig.

Glushych denkt einen Schritt weiter: *Mit dem Simultanen Beschichten und Zerspanen könnten wir beispielsweise bestimmte feinstaubreduzierende Bremscheibenbeschichtungen schneller und produktiver fertigen.* Eine andere Anwendung, welche die Forschenden testen wollen, ist die Herstellung von Multimaterialschichten in der Batterietechnik. Viktor Glushych ist überzeugt, dass das neue Kombinationsverfahren in der nächsten Zeit viele neue Anwendungsfelder für die laserbasierte Beschichtungstechnologie eröffnen wird.

Kontakt:

Viktor Glushych M. Sc., Beschichtung LMD und Wärmebehandlung, E-Mail: viktor.glushych@ilt.fraunhofer.de

➔ www.ilt.fraunhofer.de



Insbesondere beim Auftragen schwer zerspanbarer, hochfester Beschichtungen ergeben sich durch die SMaC-Technologie erhebliche wirtschaftliche und technologische Vorteile (© Fraunhofer ILT, Aachen)

Das Leipziger Fachseminar ist zurück

Zahlreiche Teilnehmer und Teilnehmerinnen beim 28. Leipziger Fachseminar am 9. März 2023 im Congress Center Leipzig

Nach zwei Jahren pandemiebedingter Pausen freuten sich die Veranstalter des 28. Leipziger Fachseminars, die DGO-Bezirksgruppen Sachsen und Thüringen, 206 Teilnehmer und 42 Aussteller in Leipzig begrüßen zu können. Prof. Thomas Lampke, TU Chemnitz, Professur für Werkstoff- und Oberflächentechnik, der Moderator des Vormittagsprogramms, begrüßte das Auditorium und brachte seine Freude zum Ausdruck, dass wieder LFS-Zeit ist. Er dankte den Ausstellern für ihr Engagement zur Unterstützung der Veranstaltung, den Teilnehmenden für ihr Kommen und dem Organisationsteam für die Vorbereitung und Durchführung der Veranstaltung. Das Nachmittagsprogramm moderierte Dr. Olaf Boehnke, Technischer Umweltschutz. Das Grußwort der DGO überbrachte der Vorsitzende der DGO, Dr. Martin Metzner vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart. Er lobte die Größe des Fachseminars äquivalent eines Kongresses und freute sich über die Umsetzung dieser wichtigen Veranstaltung, der zweitgrößten Veranstaltung der Oberflächentechnik. Metzner sprach kommende Umbrüche und Chancen in der Branche an, wie die Verlagerung in Richtung Elektromobilität, einhergehend mit einer verminderten Nachfrage nach Gleitlagern für Verbrennungsmotoren oder den Umbruch zur Wasserstofftechnologie, einhergehend mit der Chance auf innovative Beschichtungslösungen im Bereich Elektrolyse. Auch für diese Zukunftsthemen ist die Oberflächentechnik mit ihren skalierbaren und großtechnisch umsetzbaren Verfahren gewappnet.



DGO-Vorsitzender Dr. Martin Metzner überbrachte Grußworte der DGO



Prof. Dr. Lampke (rechts) bei der Moderation

Markus Geisenberger, Geschäftsführer der Messe GmbH Leipzig, brachte im Anschluss seine Freude über die Veranstaltung zum Ausdruck und lenkte das Augenmerk auf die günstige Kombination mit den zeitlich parallel stattfindenden Messen INTEC (Internationale Fachmesse für Werkzeugmaschinen, Fertigungs- und Automatisierungstechnik), die Zuliefermesse Z sowie die GrindTec (Internationale Fachmesse für Werkzeugbearbeitung und Werkzeugschleifen). In Summe sind in diesem Verbund 821 Aussteller aus 29 Ländern (ca. 20 % ausländische Unternehmen) präsent und stellen damit seinen Worten zufolge den größten Industriemesseverbund in Ostdeutschland dar.

Beschichtung mit Chromtrioxid in Europa, Autorisierung und Substitution

Dr. Arkadius Waleska, aktiv in Forschung und Entwicklung bei der WHW Walter Hillebrand GmbH & Co. KG, berichtete im zweigeteilten Vortrag zu den Themen REACH-Autorisierung und Revision. Bei der Verchromung kommt Chromtrioxid als Zwischenprodukt vor und ist autorisierungspflichtig. Ziel des Zulassungsverfahrens ist es, die Risikominimierung im Umgang mit einem besorgniserregenden Stoff über den gesamten Lebenszyklus sowie Alternativen, die technisch und wirtschaftlich sind, aufzuzeigen. Dabei müssen die Alternativen nicht zwangsläufig die gleichen technischen und optischen Eigenschaften haben oder das günstigere Produkt sein. Dr. Waleska schlüsselte den Autorisierungsprozess übersichtlich auf, von der Einreichung bis zur Entscheidung der Kommission. Die Gesamtdauer des Prozesses kann Erfahrungsgemäß zwischen elf und 23 Monaten dauern. Zwar gibt es eine Reihe an Autorisie-

rungen für Applikationen des funktionellen Verchromens, allerdings keinen Prozess, der als Alternative für die Bandbreite aller Artikel fungieren kann. Aus diesem Grund bedarf es zwangsläufig der Autorisierung mehrerer Prozesse. Ist eine Autorisierung erfolgreich seitens der Kommission entschieden, wird der Prozess fortgeführt und mündet nach einer gewissen Zeit in der Größenordnung einiger Jahre in einen erneuten Autorisierungsprozess. Eine Ungewissheit der zukünftigen Weiternutzung ist immer präsent.

Der zweite Teil des Vortrags handelte von der REACH-Revision mit den Konzepten *generic risk*, *essential use* und *zero emission*. Dr. Waleska wählte als Beispiel für das Konzept *generic risk* einen verkapselten Elektromotor mit geringem Anteil von Blei im Lot. Entsprechend des Konzepts *generic risk* ist der Einsatz des Bleis nicht zulässig. Das Konzept *essential use* und *zero emission* kann hierfür eine Ausnahmeregelung schaffen, da durch die Verkapselung des Lots eine Risikominimierung und keine Exposition für die Nutzer vorliegt. Ziel sollte immer die Minimierung der Exposition und Emission sein, von der Entstehung über die Anwendung bis zum Recycling. Die Europäische Kommission versucht mit diesem Konzept einen Weg zur systematischen Entscheidungsfindung zu etablieren. Dabei ergibt sich für die Unternehmen oft die Schwierigkeit, gesellschaftliche Fragen zur persönlichen und öffentlichen Sicherheit alleinig beantworten zu müssen.

Abwasserbehandlung aus chemisch Nickel-Prozessen ohne Komplexbildner

Erik Bratfisch, verantwortlich für die Projektierung von Großanlagen bei der bi.bra Abwassertechnik GmbH in Dresden, präsentierte ein Verfahren zur Abwasserreinigung von chemisch Nickel-Prozessen. Motivation ist die Reduzierung der hohen Nickelgehalte auf die einzuhaltenden Grenzwerte von 3 g/L bis 6 g/L auf 1 mg/L für direkte sowie 0,5 mg/L für indirekte Einleiter. Phosphor liegt als nicht ausfällbare Ortho- und Hypophosphitverbindung vor und muss mit einem Gehalt von etwa 30 g/L auf die Grenzwerte von 2 mg/L für direkte sowie 5 mg/L bis 10 mg/L für indirekte Einleiter reduziert werden. Stand der

OBERFLÄCHEN

Technik ist die sulfidische Fällung, Filtration und pH-Korrektur. Als *Komplexspalter* wird ein Organosulfid eingesetzt. Dieser Prozess ist personal- und zeitintensiv, erfordert Platz und Investitionen, die Vorhaltung von Fällungschemie und er erzeugt wertlose Mischschlämme mit geringem Nickelgehalt.

Die bi.bra Abwassertechnik GmbH verwendet als Alternative einen schwachsauren Kationenaustauscher, der sehr selektiv Nickel mit einer Kapazität von 30 g Nickel pro Liter eingesetztem Harz entfernt. Nach Regenerierung des Ionenaustauschers können werthaltige Schlämme mit hohen Nickelgehalten gewonnen werden.

Durch die nachgelagerten Prozesse Nassoxidation mit UV (Abbau Organik) und Wasserstoffperoxid (Phosphatbildung), Phosphatfällung, Filtration und pH-Korrektur wird erreicht, dass das Abwasser entsprechend der Grenzwertvorgaben eingeleitet werden kann. Die Vorteile des Verfahrens sind eine Vereinfachung der Abwasserbehandlung, keine Verwendung von Komplexspaltemitteln, eine bessere Weiterverwertung von Nickel sowie die Einhaltung der Grenzwerte und des Gesamtphosphatgehalts. Eine einfache Nachrüstung in bestehende Anlagen ist möglich.

Beschichtung von Bremsteilen und Ausblick auf zukünftige Anforderungen

René van Schaik von MacDermid Enthone Industrial Solutions berichtete in seinem Vortrag über Beschichtungstechnologien von Bremsteilen. Global ist ein ansteigender Bedarf an Komponenten der Bremsanlage im Bereich der Elektrofahrzeuge festzustellen. Grundlegende Herausforderung ist dabei der Trend zur Gewichtsreduzierung um 200 kg bis 300 kg pro Fahrzeug, was wiederum den Verbrauch an Treibstoff für Verbrenner reduziert oder die Reichweite von Elektrofahrzeugen erhöht. Für Elektrofahrzeuge wird eine geringere Beanspruchung der Bremsen und eine längere Standzeit angestrebt. Der Trend geht in Richtung Bremsanlagen ohne Bremsflüssigkeit und den vermehrten Einsatz von Aluminium als Werkstoff.

Das System Zink-Nickel setzt sich auf dem europäischen (70 % Anteil), nordamerikanischen (60 % Anteil) und chinesischen Markt (10 % Anteil) immer mehr durch. Zink-Nickel zeigt sich vorteilhaft bei der Vermeidung von Kontaktkorrosion, verringert das Risiko der Wasserstoffversprödung und stellt gegenüber reinen Zinkschichten für Graugussbauteile einen verbesserten Korrosionsschutz

dar. Wichtigster Punkt ist eine reproduzierbare Einbaurate von Nickel in die Schicht zwischen 12 Gew.-% bis 16 Gew.-%.

Eine Perspektive für Verfahren zur Erzeugung von Konversionsschichten und der elektrolitischen Oxidation zeigt der zu erwartende verstärkte Einsatz von Aluminium für Bremsattel. Eine besondere Herausforderung wird hierbei die Zusammensetzung der Aluminiumlegierungen sein.

Beizinhibitoren – warum die Säurewirkung schwächen?

Bjoern Stroh, seit 2017 aktiv bei MKS Atotech, befasst sich unter anderem mit Beizinhibitoren und der Schwächung der Säurewirkung im Zusammenhang mit Beizinhibitoren. Stroh führte mit Grundlagen zum Beizmechanismus und der Wirkungsweise von Beizinhibitoren in seinen Vortrag ein. Als Beizchemie werden häufig 15 Gew.-% bis 20 Gew.-% Salzsäure in Kombination mit Inhibitoren und Benetzungsmitteln eingesetzt. Das Ziel ist die Entfernung von Verunreinigungen und Oxidationsprodukten.

Sehr gute Inhibitoren hemmen den Angriff der Säure auf das Grundmaterial (Adsorption) und zeichnen sich gegenüber dem Substrat als sehr selektiv aus. Geringe Mengen an Inhibitoren können die Verweilzeit und Beständigkeit des Substrats in der Beize signifikant erhöhen. Das Überbeizen wird verhindert und die Gefahr der Wasserstoffversprödung gemindert. In seinem Vortrag stellte der Referent einen Beizinhibitor von MKS Atotech mit der Bezeichnung *Next Gen Inhibitor* vor. Die positiven Eigenschaften dieses Zusatzes wurden in vergleichenden Untersuchungen zur Ätzrate sowie C-Ring-Test (Wasserstoffversprödung) mit Beizen ohne Inhibitor, einem klassischen Inhibitor sowie der Kombination mit Benetzungsmittel verdeutlicht.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Inhibitor sehr selektiv wirkt und ein Überbeizen vermeidet. Die positiven Effekte sind eine längere Standzeit der Beizlösung, Schutz vor Überbeizen (Oberflächenaufräuhung) und eine deutliche Minderung des Wasserstoffgehalts unterhalb kritischer Werte.

Förderung von hocheffizienten Gleichrichtern – Praxisbeispiele

Lukas Büscher von der Munk GmbH zeigte dem Auditorium mögliche Praxisbeispiele zur Finanzierung von hocheffizienten Gleichrichtern auf. Im Fokus stehen dabei Fördermittel und entsprechende Förderprogramme. Ziel ist es, den Ausstoß an Kohlenstoffdioxid

zu minimieren und ressourcenschonender mit Energie umzugehen. Im Schnitt entfallen ein Drittel der eingesetzten Prozessenergie in einer Galvanikfertigung auf elektrische Geräte wie Pumpen und Gleichrichter, wobei Gleichrichtergeräte einen Großteil dieser Prozessenergie erforderlich machen. Deshalb eröffnen neue, energieeffiziente Gleichrichtergeräte infolge von innovativem Design und neuester Halbleitertechnik neue Einsparpotenziale bezüglich Energiekosten und ökologischem Fußabdruck.

Büscher stellte drei Fördermöglichkeiten vor:

- Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft, Modul 4 vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (kurz BAFA)
- Bundesförderung Energieberatung NWG, Anlagen und Systeme, Modul 1 von der KfW
- Förderung über den Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Der Schwerpunkt des Vortrags konzentrierte sich auf den Ablauf zur Förderung über das BAFA. Die Munk GmbH unterstützt Kunden aktiv und ist bei der Kooperation mit einem vom BAFA zertifizierten Energieberater behilflich. Im Detail sind 40 % der Kosten (inkl. Nebenkosten und Einsparkonzept) bis maximal 500 Euro (900 Euro für KMU) pro eingesparte Tonne Kohlenstoffdioxid unter der Bedingung förderfähig, dass die Amortisation länger als drei Jahre dauert. Die Vorteile einer Förderung sind ein einmaliger Zuschuss seitens des BAFA ohne Verbindlichkeiten, ein neuer Gleichrichter mit gesicherter Lebensdauer von mehr als zehn Jahren, eine zügigere Amortisation, ein geringer bürokratischer Aufwand (Energieberater) sowie die Reduzierung von Emissionen an Kohlenstoffdioxid und dem Energiebedarf. Wie die nachfolgende Diskussion zeigte, ist für die Anschaffung neuer Gleichrichter mit einem erhöhten Wirkungsgrad vor allem die individuelle Situation der Gerätetechnik im Betrieb entscheidend.

Automatisierte Elektrolytentwicklung – Möglichkeiten und Perspektiven robotergestützter Galvanik

Dr. Roy Morgenstern, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Chemnitz, Professur Werkstoff- und Oberflächentechnik, vermittelte dem Auditorium zu Beginn des Vortrags anhand einer kurzen Filmsequenz eindrücklich den Einsatz der robotergestützten Galvanik. Die Entwicklung dieses Vorhabens, die im übrigen mit dem Leipziger Galvanopreis 2021 ausgezeichnet wurde, war mit einer Reihe von Forschungsprojekten der TU Chemnitz



**23. Leipziger
Fachseminar 2023**

OBERFLÄCHEN

verknüpft. Eine Triebkraft war die Entwicklung von alternativen, REACH-konformen Schichtsystemen zu bestehenden Zink-Eisen- oder Zink-Nickel-Schichtsystemen im Korrosionsschutzbereich. Dafür kommen eine Vielzahl an möglichen Legierungsschichten und Legierungselektrolyte in Frage. Der Aufgabenumfang und die erforderliche Versuchsmatrix war und ist anspruchsvoll.

Für einen effizienten Forschungsansatz setzte die TU Chemnitz auf eine Kombination aus Elektrolytvorbetrachtung (pH-Wert, Art der eingesetzten Komplexverbindungen und Komplexstabilitätskonstanten, Halbwertszeiten) sowie den Einsatz der Pulsstromabscheidung. Der Einsatz der robotergestützten Galvanotechnik erlaubte eine Reduzierung des Aufwands und die Minimierung der erforderlichen Versuchsmatrix. Dadurch konnten neue Legierungsschichten auf der Basis von Zink-Wolfram, Zink-Wolfram-Kupfer oder Zink-Eisen-Molybdän entwickelt werden. Letztere haben sich als eine sehr gute REACH-konforme Alternative für Legierungsschichten aus Zink-Nickel herauskristallisiert. In kommenden Projekten soll die robotergestützte Galvanikanlage genutzt werden, um beispielsweise Erweiterungen um eine integrierte RFA, eine automatisierte Gestellbestückung, eine KI-gesteuerte Probenbewegung sowie ein Kamerasystem für die Oberflächencharakterisierung zu testen.

Plasmabehandlung und Nickeldispersionsschichten

Dr. Sven Gerullis, Bereichsleiter Oberflächen-technik Innovent e. V., stellte Ergebnisse von Untersuchungen zur Plasmabehandlung von Trockenschmierpulvern und Einlagerung in Nickeldispersionsschichten zur Verschleißreduktion vor. Durch das Einbringen von Hartstoffen (Erhöhung der Härte) oder von Trockenschmierstoffen (Verbesserung der Schmiereigenschaften) in Nickel-Dispersionsschichten kann ein verbesserter Verschleißschutz dieser Schichten erreicht werden.

Der Vorteil der Plasmamodifikation gegenüber der bisher verwendeten nasschemischen Modifizierung nicht dispergierbarer Substanzen ist der Verzicht auf fluorhaltige Tenside. Für die Untersuchung wurde ein handelsüblicher Elektrolyt mit einem Phosphorgehalt von 1 % bis 3 % und einer Beschichtungsrate zwischen 10 µm/h und 25 µm/h eingesetzt. Als Substrat wurden Bleche aus unlegiertem kaltgewalztem Stahl und als Pulver hexagonales Bornitrid (hBN), Polyetheretherketon (PEEK) und Polyimid (PI) verwendet.

Die Dispergierbarkeit von behandelten und unbehandelten Pulvern wurde durch optische Tests abgeschätzt. Die Bindungsänderungen auf den Oberflächen wurden mittels ATR-FTIR und XPS nachgewiesen. Aus der XPS-Analyse ging hervor, dass der prozentuale Sauerstoffgehalt steigt und der Kohlenstoffgehalt sinkt. Hinsichtlich der Erhöhung des Sauerstoffgehalts konnte für die Polymerpulver PEEK und PI der stärkere Effekt nachgewiesen werden. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Einfluss von pH-Wert und Nitratgehalt zu beachten sind. Eine Lagerzeit des Pulvers von etwa 24 Stunden an der Luft vor der Dispergierung führt zu einer Verringerung der Nitratkonzentration und einem leichten Anstieg des pH-Werts.

Alle plasmamodifizierten Pulvermaterialien konnten in die Nickelschichten eingelagert werden. Anhand von Rasterelektronenaufnahmen stellte Gerullis den unterschiedlichen Einbau der plasmabehandelten Artikel in der chemisch abgeschiedenen Nickelschicht dar und bewies, dass die Einbettung von plasmavorbehandelten Trockenschmierstoffen in Nickelschichten möglich ist. Dadurch konnten mechanische und tribologische Eigenschaften der Schicht verändert werden. Es konnten verbesserte Verschleißseigenschaften gegenüber unmodifizierten Nickelschichten nachgewiesen werden. Schichten mit hBN erreichten die höchste Verbundhärte und den geringsten Verschleiß. Die Untersuchungen werden weiter geführt; insbesondere Versuche zur Erhöhung des Füllgrades sowie zur Charakterisierung der Schichten.

Metallisierung von Textilien

Den Abschluss der Vortragsveranstaltung bildete der Vortrag von Julia Ullrich, Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland, Greiz. Sie machte eindrucksvoll deutlich, welche Möglichkeiten die Galvanotechnik bieten kann. Ziel der Metallisierung von Textilien ist vorrangig das Einbringen von elektrischer Leitfähigkeit; damit sind elektrische Funktionen in Textilstrukturen integrierbar, zum Beispiel Heitztextilien, Robotikanwendungen, Medizintechnik. Die Galvanisierung von Textilien hat Ähnlichkeit mit der Metallisierung von Kunststoffen. Herausforderungen bei der galvanischen Beschichtung von Textilien sind vor allem die Haftung der aufgetragenen Metallschichten, die textile Verarbeitbarkeit, der Erhalt der textilen Eigenschaften sowie die Entfernung der Elektrolytreste. Bei der Vorbehandlung der Textilien für die Beschichtung geht es darum, Präparationen der Vorprozesse (Spinöle,

Fette, Wachse) zu entfernen. Danach muss die Oberfläche aufgeraut werden, ohne das Textilsubstrat zu zerstören. Das Aufrauen erfolgt mittels Natronlauge und die anschließende Aktivierung mit Palladium. Der erste Beschichtungsschritt ist die chemische Verkupferung. Die Versilberung von Polyamid wurde industriell umgesetzt (Shieldex).

Die Beschichtung von Fäden arbeitet nach dem Prinzip der Drahtgalvanik. Dadurch wird eine qualitativ hochwertige galvanische Abscheidung am Faden ermöglicht. Bei der galvanischen Beschichtung von Gestriicken können bis zu drei Gestricke parallel beschichtet werden und es lassen sich hochleitfähige Gestricke erzeugen. Die Referentin gab einen Überblick über die Anforderungen an die Textilgalvanik und zeigte Möglichkeiten der technischen Realisierung auf.

Abschließend präsentierte Julia Ullrich äußerst interessante Anwendungen, für die leitfähige Textilien zukunftsweisend sein könnten:

- Galvanische Kontaktierung metallischer Leiter in Gewebe (z.B.: LED-Faden-Gewebe)
- Entwicklung einer textilbasierten Farbstoffsolarzelle als Energieversorgung für autarke flexible Mikrosysteme auf der Basis von intelligenten technischen Textilien
- Elektrochemische Modifikation: Anodisieren zur Erzeugung von Oxidschichten (z. B. nanoporöses Zinkoxid als photosensitives Garn) oder kathodisch induzierte Polymerisation von Sol-Gel-Monomeren
- Gewebte Elektronik: Gewebte Textilien in Kombination mit LEDs, Farbdisplays
- Textile Elektroden: Gewebe / gestrickte Elektroden zur Muskelstimulation (Bandagen)

Fazit

Die Resonanz von Referenten, Ausstellern und Teilnehmern zu dieser Veranstaltung war überaus positiv, so dass von einem gelungenen Neu-Start des Leipziger Fachseminars gesprochen werden kann. Auch die beiden letzten Vorträge des Tages aus dem Bereich der Grenztechnologien der Galvanotechnik wurden positiv aufgenommen. Das LFS bietet auch immer solchen Technologien einen Raum zur Präsentation. Die Erwartungen des Organisationsteams wurden damit mehr als erfüllt. Nun geht es an die Vorbereitung des 29. Leipziger Fachseminars, das aus heutiger Sicht für Anfang März 2024 geplant ist. Abschließend gebührt den Moderatoren ein herzliches Dankeschön für ihre äußerst sachkundige und charmante Moderation.

Mathias Weiser / Marion Regal

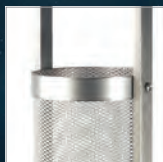


umicore
Metal Deposition Solutions

PLATINODE® für

weniger CO₂ Ausstoß

Reduzieren Sie Ihren Energiebedarf
in der Hartverchromung



Durch den Einsatz von PLATINODE® HC anstelle von herkömmlichen Bleianoden in Hartchromanwendungen konnten in den letzten 5 Jahren ca. 130 Mio. kg CO₂ eingespart werden. Das entspricht einer Autofahrt von 1.000.000.000 km - eine Strecke, die unglaublichen 25.000 Erdumrundungen gleichkommt.

Erfahren Sie, wie Sie mit der PLATINODE® HC Ihren CO₂-Fußabdruck reduzieren – und gleichzeitig deutlich sicherer, wirtschaftlicher und qualitativ hochwertiger produzieren:

<https://mds.umicore.com/platinode-hc-spart-energie>

Grundlage für Berechnung

Strommix in Deutschland 2021 (www.umweltbundesamt.de)

Produktionszeit der Unternehmen: 16 Stunden/Tag (2-Schicht)

118,5 g CO₂ (Benziner)/Personenkilometer (www.umweltbundesamt.de)

Abriebfest wie keine andere strahlend weiße Rhodiumbeschichtung

Abriebfestigkeit von Rhoduna® Alloy durch das unabhängige Berufskomitee für wirtschaftliche Entwicklung Francéclat in Paris, Frankreich, bestätigt

Die bereits von Umicore Metal Deposition Solutions 2010 entwickelte Oberflächenlegierung Rhoduna® Alloy hat sich als Standard für eine alternative Rhodiumbeschichtung etabliert. Die Gründe, warum der Elektrolyt weltweit von namhaften Herstellern eingesetzt wird, sind vielfältig. Allen voran werden vom Unternehmen selbst die außergewöhnlich hohe Abriebbeständigkeit, der mit reinem Rhodium identische Weißgrad und der deutliche Kostenvorteil genannt. Gerade die qualitativen Eigenschaften wurden nun durch den unabhängigen und unter anderem die Schmuckbranche bedienenden Fachausschuss für wirtschaftliche Entwicklung Francéclat, Paris, untersucht und bestätigt.

Rhoduna® Alloy ist mehr als eine Alternative

Ziel bei der Entwicklung dieses Rhodium-Ruthenium-Elektrolyten (zusammengesetzt aus 75 % Rhodium und 25 % Ruthenium) war es, eine maximale Kostenersparnis zu erreichen, ohne Abstriche hinsichtlich der Qualität machen zu müssen. Dabei sollte die Rhodium-

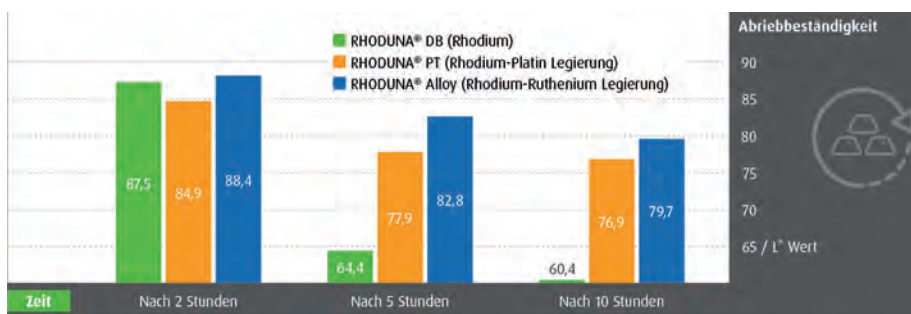


Das Korrosionsverhalten von Rhoduna® Alloy-Schichten entspricht dem mit reinem Rhodium, wie die Sulfid- und Schweißbeständigkeit in den unabhängigen Tests von Francéclat belegen (I.); im direkten Vergleich besitzt die neue Legierung ein deutlich besseres Streuverhalten, was sich bei komplex geformten Schmuckstücken mit Vertiefungen zeigt (Bild: Umicore)

Ruthenium-Legierung – ähnlich wie reines Rhodium – ebenfalls problemlos in Schichtdicken zwischen 0,05 µm und 0,2 µm abgeschieden werden können. Dass die gesetzten Ziele erreicht und einige qualitative Eigenschaften tatsächlich noch verbessert wer-

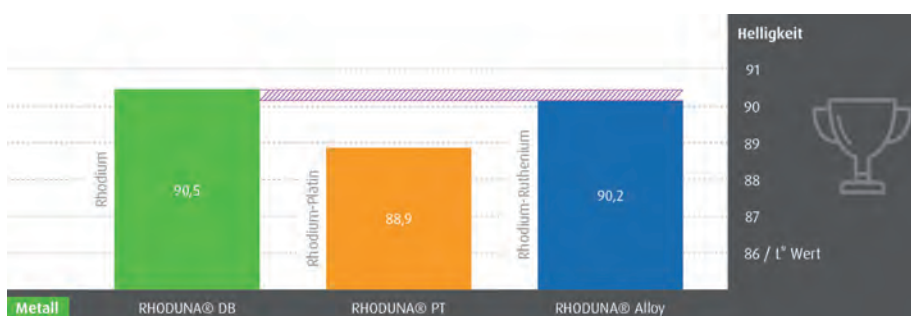
den konnten, wird im jetzt veröffentlichten Francéclat-Testbericht auch von unabhängiger Seite bestätigt.

Im Vordergrund stand dabei die von Umicore stets behauptete und durch einen internen Bosch-Weinmann-Test nachgewiesene bessere Abriebfestigkeit des Legierungselektrolyten im Vergleich zu reinem Rhodium. Das Komitee verwendete jedoch den in der Schmuckindustrie gebräuchlichen Turbula-Abriebtest. Hierbei wurden die L'-Werte (Helligkeit im CIELAB-Farbraum) der 0,1 µm dicken Deckschichten in zwei Versuchen auf den Substraten Palladium und Ruthenium überprüft. Bereits nach zwei Stunden waren erste Auflösungserscheinungen der reinen Rhodiumschicht anhand des abnehmenden L'-Werts erkennbar und nach fünf Stunden war die Schicht fast vollständig abgetragen. Der L'-Wert lag um etwa 30 Punkte niedriger und entsprach damit fast dem Helligkeitswert des jeweils verwendeten Substrats. Im Gegensatz dazu war die Deckschicht Rhoduna® Alloy im gleichen Versuchslauf auch nach zehn Stunden noch weitgehend intakt und zeigte unabhängig vom Substrattyp einen L'-Wert-Verlust von nur zehn Punkten.



Die konstant hohen L'-Werte (Weißgrad) im Turbula-Abriebtest von Francéclat belegen, dass Rhoduna® Alloy eine deutlich bessere Abriebbeständigkeit aufweist als reines Rhodium

(Bild: Umicore)



Der Weißgrad einer Rhoduna® Alloy-Endschicht entspricht nahezu dem einer reinen Rhodiumschicht; der marginale Unterschied ist mit bloßem Auge nicht wahrnehmbar

(Bild: Umicore)

Rhoduna® Alloy ist optisch nicht zu unterscheiden

Durch die gezielte Elektrolytentwicklung wurde eine Schicht erreicht, deren Weißgrad



Ruthenium ist wesentlich günstiger als Rhodium, was dem neuen Verfahren aktuell einen Kostenvorteil von etwa 25 Prozent im Vergleich zu reinen Rhodiumelektrolyten verschafft

(Bild: Umicore)

nahezu dem von reinem Rhodium entspricht. So liegt der L*-Wert (Weißgrad) der Rhoduna® Alloy-Schichten im Francélat-Testbericht nur 0,3 Punkte unter dem der Schicht aus einem reinen Rhodiumelektrolyten. Mit bloßem Auge ist dieser marginale Unterschied selbst für Experten nicht wahrnehmbar.

Vorteile bei Streuverhalten und Wirtschaftlichkeit

Für reine Rhodiumelektrolyte ist die Abscheidung in komplex geformten Applikationen meist schwierig. Besonders deutlich wird dies zum Beispiel bei Vertiefungen in Schmuckstücken, wie sie zur Einlagerung von Edelsteinen genutzt werden. Die geringe Abscheidung in diesen Bereichen führt zu weniger hellen Flächen, was Edelsteine matt und blass erscheinen lässt. Im direkten Vergleich zeigt Rhoduna® Alloy ein deutlich besseres Streuverhalten, was sich direkt auf die Strahlkraft der Vertiefungen auswirkt – die Applikation wirkt nicht nur wertiger, sondern ist es auch qualitativ.

Das neue Legierungsverfahren bietet aber nicht nur qualitative Vorteile. Der Legierungs-

partner Ruthenium ist aufgrund von Vorkommen und Nachfrage auch seit vielen Jahren wesentlich günstiger als Rhodium, was der Legierung einen Preisvorteil verschafft. Verglichen mit herkömmlichen Rhodiumelektrolyten bietet Rhoduna® Alloy damit eine Kostenersparnis von etwa 25 Prozent (Preis- und Ersparnisangaben, Stand 4. April 2023).

Auch für technische Anwendungen interessant

Vergoldete Ladekontakte und Stecker (z. B. USB-C, Pogo Pin) können einigen Anforderungen an Wearables und Mobiltelefone nicht erfüllen. Sie korrodieren während des Ladevorgangs, wenn sie zuvor mit Salzwasser, Schwimmbadwasser, Schweiß oder Getränken in Berührung gekommen sind, was zu zahlreichen Reklamationen und damit zum teuren Austausch von beschädigten Geräten führt.

Rhodium ist deutlich korrosionsbeständiger als Gold und hier das Edelmetall der Wahl, wenn es um höchste Qualität und Sicherheit geht. Das Korrosionsverhalten von Rhoduna® Alloy-Beschichtungen unterscheidet sich



Mit der neuen Legierung beschichtete Kontakte sind vor Korrosion geschützt, ohne die Schnellladefähigkeit der Geräte zu beeinträchtigen
(Bild: Umicore)

nicht von einer Schicht aus reinem Rhodium, wie die Sulfid- und Schweißbeständigkeit in unabhängigen Tests von Francélat belegt. Werden die Kontakte mit der neuen Rhodium-Ruthenium-Legierung beschichtet, sind sie also gleichwertig vor Korrosion geschützt. Auch die Schnellladefähigkeit der Geräte wird durch die Legierung nicht beeinträchtigt.

Reines Rhodium nicht mehr erforderlich

Ebenfalls in den Francélat-Testbericht einbezogen wurde Rhoduna® PT, eine Rhodium-Platin-Legierung. Auch diese erzielte im Vergleich zu reinen Rhodiumschichten hervorragende Abriebwerte und bietet aufgrund des Edelmetallverhältnisses (20 % Rhodium, 80 % Platin) derzeit einen Kostenvorteil von über 55 Prozent (Preis- und Ersparnisangaben, Stand 4. April 2023). Eine weitere Alternative, wenn berücksichtigt wird, dass der L*-Wert im Test nur knapp zwei Punkte unter dem von reinem Rhodium liegt.

Umicore sieht das unabhängige Testergebnis von Francélat nicht nur als Bestätigung der Produkteigenschaften. So waren nach Aussage von Martin Stegmaier, Bereichsleiter Dekorative Anwendungen, die Vorteile der Rhoduna®-Produkte für die Beschichtung von technischen und dekorativen Oberflächen schon immer offensichtlich. Die jetzt vorliegende Bestätigung von unabhängiger Seite unterstreicht, dass es mit dem neuen Verfahren keinen objektiven Grund mehr gibt, reine Rhodiumbeschichtungen zu verwenden.

Weitere Informationen erhalten Interessierte unter:

➔ <https://mds.umicore.com/weisse-koenigin>

➔ <https://mds.umicore.com/storage/mds/rhoduna-alloy-test-report-france-lat-2022.pdf>

➔ <https://www.youtube.com/watch?v=3Xk-5wc1xwR4&t=24s>

Über Umicore Metal Deposition Solutions

Die Umicore-Business Unit Metal Deposition Solutions (MDS) ist innerhalb der Umicore-Gruppe die Geschäftszentrale für die beiden am Markt etablierten Geschäftsbereiche Electroplating und Thin Film Products. Metal Deposition Solutions ist weltweit einer der führenden Anbieter von Produkten zur (edel-)metallbasierten Beschichtung von Oberflächen im Nano- und Mikrometerbereich; mit der Expertise der beiden Bereiche werden dabei die beiden hochwertigsten Verfahrensweisen Galvanik- und PVD-Beschichtungen verbunden.

Die Lösungen der Business Unit finden bei vielen Produkten des täglichen Gebrauchs Anwendung beziehungsweise ermöglichen erst deren Produktion. Fast alle namhaften Hersteller der Elektronik-, Automotive-, Optik- aber auch der Schmuckindustrie beziehen direkt oder indirekt Bauteile, die mit Umicore-Produkten beschichtet wurden. MDS bietet neben der Entwicklung und Produktion einen umfassenden Service zu ihren Produkten an. Dazu gehören neben der Beratung und der technischen Unterstützung vor Ort beispielsweise auch das Recycling oder das Edelmetallmanagement.

➔ www.mds.umicore.com

parts2clean 2023: High Purity-Reinigung – Hype oder neue Anforderungen?

Bei Hightech-Bauteilen werden die Sauberkeitsanforderungen zunehmend anspruchsvoller und strenger. Dadurch hat sich neben den Begriffen Feinst- und Präzisionsreinigung in den letzten Jahren der Terminus High Purity-Reinigung etabliert. Doch was steckt dahinter und gibt es Unterschiede? Diese Fragestellungen thematisiert die diesjährige parts2clean mit dem Thema **High Purity**. Es ergänzt die klassischen Kernbereiche der internationalen Leitmesse für industrielle Teile- und Oberflächenreinigung, die vom 26. bis 28. September 2023 auf dem Messegelände Stuttgart durchgeführt wird.

Die enorm gestiegenen und weiter steigen den Ansprüche an die Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit von Bauteilen und Komponenten wirken sich auch auf die Bauteilreinigung aus. Dies betrifft zahlreiche Branchen, wie die Halbleiterindustrie, die Zulieferindustrie, Elektronikfertigung, Elektromobilität, Präzisionsoptik, optoelektronische Industrie, Sensortechnik, Photonik, Dünnschichttechnologie, Vakuum-, Laser- und Analysetechnik, Luft- und Raumfahrt sowie Medizin- und Pharmatechnik. In diesen Industriebereichen ist daher immer öfter der Begriff High Purity zu hören. Trotz der vergleichsweisen jungen Diskussion um diesen Anwendungsbereich der industriellen Bauteilreinigung bildet ihn die parts2clean laut Christoph Nowak, Project Director bei der Deutschen Messe AG, mit ihren Ausstellern bereits ab, die dafür vielfältige Lösungen bieten. *Durch die zukünftig wachsende Bedeutung dieses Kompetenzfeldes haben wir uns erstmalig dazu entschieden, die klassischen Kernbereiche der parts2clean durch das Highlight-Thema High Purity zu ergänzen.*

Eine allgemeingültige Definition, welche Voraussetzungen und Anforderungen bei der High Purity-, Präzisions- und Feinstreinigung zu erfüllen sind, gibt es nicht. Diese Termini werden daher häufig synonym verwendet und haben auch einiges gemeinsam. Grundsätzlich sind sehr hohe Level an partikulärer Sauberkeit, zum Teil bis in den Nanometerbereich, sowie extrem strenge Vorgaben hinsichtlich filmischer Restkontaminationen zu erfüllen. Es bestehen jedoch auch Unterschiede. So wird High Purity häufig im Zu-

sammenhang mit der Halbleiterindustrie und deren Zulieferer, der Präzisionsoptik, Raumfahrt sowie in weiteren Branchen verwendet, in denen Hochvakuum- und Ultrahochvakuum-Umgebungen im Einsatz sind, um spezifische Eigenschaften der Prozesse und Endprodukte sicherzustellen. Neben partikulären und filmisch-organischen sowie anorganischen Verunreinigungen, sind hier sowohl bei den Bauteilmaterialien als auch bei den Betriebsstoffen und Reinigungsmedien so genannte Hydrogen Induced Outgassing (HIO)-Stoffe beziehungsweise Elemente zu berücksichtigen.

Bei den Aufgaben in der High Purity-, Präzisions- und Feinstreinigung geht es darum, geringste Schmutzmengen zu entfernen, die je nach Branche und Bauteil variieren können. Es handelt sich häufig um Feinstpartikel und filmische Verunreinigungen, Organik und/oder Anorganik, ionische Rückstände beziehungsweise Reste von Mikroorganismen. Der Fokus liegt hier noch deutlich stärker als bei klassischen Reinigungsaufgaben auf der gesamten Fertigungskette, so müssen zum Beispiel vorgelagerte Bearbeitungsprozesse das Sauberkeitsziel unterstützen, ebenso wie ein sauberkeitsgerechtes Teilehandling und Umgebungsbedingungen, zum Beispiel Sauber- oder Reinraum.

Um die minimalen Verunreinigungen zu entfernen, ist es erforderlich, dass die eingesetzten Anlagen und Reinigungstechnologien – nasschemische Prozesse mit Lösemitteln und wässrigen Medien, trockene Reinigung mit beispielsweise CO₂-Schneestrahlen, Plasmareinigungs- und Vakuum-Ausheizsysteme

– entsprechend konstruiert und ausgelegt sowie auf die spezifischen Sauberkeitsanforderungen der Bauteile abgestimmt sind. Dies trifft bei nasschemischen Prozessen auch auf die eingesetzten Reinigungsmedien und Wasserqualitäten zu. Ein weiterer Aspekt ist der saubere Umgang mit gereinigten Teilen. Daher erfolgt die Reinigung beziehungsweise die Ausgabe der Komponenten abgestimmt auf die Sauberkeitsspezifikation in einen Sauber- oder Reinraum.

Als Leitmesse für industrielle Bauteilreinigung haben wir den Anspruch, nicht nur Spiegelbild des Markts zu sein, sondern auch den fachlichen Austausch der Themen von morgen voranzutreiben, betont Christoph Nowak. Das Thema High Purity werde daher im zweisprachigen Fachforum vertieft. Das ausgewogene Programm des gemeinsam mit dem Fraunhofer-Geschäftsbereich Reinigung und dem Fachverband industrielle Teilereinigung (FiT) organisierten Wissenstreffpunkts sorgt dafür, dass auch Informationen zu klassischen Reinigungsthemen, aktuellen Aufgabenstellungen und Entwicklungen aus verschiedensten Industriebereichen nicht zu kurz kommen.

Die angebotenen Vorträge renommierter Referenten aus Wissenschaft, Forschung und Industrie werden ebenfalls simultan übersetzt (Deutsch <> Englisch). Nationalen und internationalen Besuchern ermöglicht die parts2clean damit einen gezielten Wissenstransfer über Trends, Innovationen und Benchmark-Applikationen in allen Bereichen der industriellen Teilereinigung.

➔ www.parts2clean.de

INSERENTENVERZEICHNIS

B+T ID Solutions GmbH	U4	Mazurczak GmbH	15	Serfilco	11
BAG Analytics GmbH	13	met-at-lab	25	STZ Tribologie	U2
Brenscheidt Galvanik Service	25	Munk GmbH	1	TIB AG	5
BRW Elektrochemie	21	Renner GmbH	Titelbanner	Umicore Galvanotechnik	35
Hendor	39	RMA Kehl	41		
Walter Lemmen GmbH	17	Dr.-Ing. Max Schlötter	Titel		

Produktionsprozesse überwachen durch innovative Sensoreinsätze

Für eine optimale Produktqualität ist eine exakte Steuerung des Produktionsprozesses erforderlich. Dazu müssen die relevanten Parameter kontinuierlich erfasst werden. Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST aus Braunschweig stellte dazu auf der Hannover Messe seine neuesten Entwicklungen zur Optimierung von Querkeilwalzprozessen vor: Dünnschichtsensoreinsätze, die nach Angaben des Fraunhofer IST eine präzise In-situ-Erfassung der Temperaturverteilung auf der Werkzeugoberfläche ermöglichen.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH (IPH) hat das Fraunhofer IST spezielle Sensoreinsätze in Form eines Messtrichters entwickelt, die sich direkt in die Oberfläche des Werkzeugs integrieren lassen. Diese Methode erlaubt es, bestehende Maschinen und Werkzeuge nachzurüsten und bietet zudem die Möglichkeit, Verbesserungen und Weiterentwicklungen der Sensorik durch einfaches Austauschen des Einsatzes umzusetzen. Dank der Erfassung von Messgrößen wie Temperatur oder Druck direkt an der Oberfläche von hochbelasteten Werkzeugen während eines Herstellungs- oder Bearbeitungsprozesses können Werkzeugverschleißprozesse besser verstanden und unerwartete Schwankungen kurzfristig erkannt werden.

Die Messung direkt während des Prozesses ist dabei im Vergleich zu herkömmlichen Methoden wie der Pyrometrie deutlich präziser und ermöglicht eine genaue Erfassung des zeitlichen Parameterverlaufs. Die Sensoren sind verschleißfest und können auch in hochbelasteten Bereichen sowie auf komplex geformten Oberflächen Messdaten erfassen. Die Technologie lässt sich für eine Vielzahl weiterer Produktionsprozesse, wie beispielsweise die Warm- und Kaltumformung oder das Kunststoffspritzgießen, nutzen und liefert daneben eine wichtige Datenbasis für die Digitalisierung von Prozessen. Individuelle Lösungskonzepte entwickelt das Fraunhofer IST maßgeschneidert und angepasst für die spezifischen Anwendungen des Kunden.

➔ www.ist.fraunhofer.de



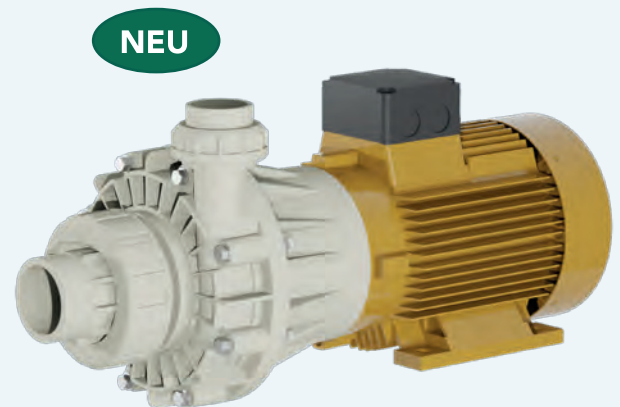
Mit Dünnschichtsensorik beschichteter Sensoreinsatz (© Fraunhofer IST/Ulrike Balhorn)

hendor 
excellence in pumps & filtration

DIE NEUE GENERATION Magnetgekuppelte Kreislumpen

OPTIMALE LEISTUNG MIT MINIMALEM CO₂-FUSSABDRUCK DURCH SMART TECHNOLOGY

- Geringer Energieverbrauch
- Hocheffizientes Spiralgehäuse
- Lager mit Spülkanäle: verbesserte Kühlung, bessere Schmierung, geringer Verleib
- Neuestes +GF+ Gewinde am Anschlüsse



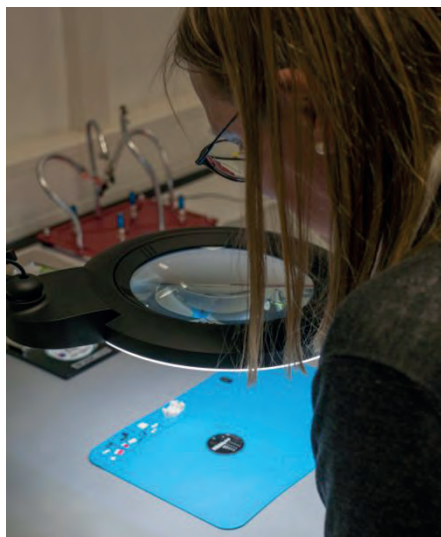
Vom 3D-Drucker bis hin zur Tauchsäge: Ein FabLab für die TU Ilmenau

Wie die TU Ilmenau mitteilt, hat sie kurz vor der Semesterpause das IlmkubatorLab eröffnet, einen weiteren Makerspace für Studierende und Gründungsinteressierte an der Universität. Anlässlich der Eröffnung hatten Universitätsangehörige, Partner und die studentischen Vereine Gelegenheit, das Konzept und die Räume des neuen IlmkubatorLabs in den Finnhütten auf dem Fischerhüttengelände kennenzulernen und ihre eigenen Ideen für die Nutzung einzubringen.

Wer an der TU Ilmenau ein Studium der Ingenieurwissenschaften, der Medien, der Mathematik oder der Naturwissenschaften beginnt, wird schon früh in Forschungsprojekte eingebunden, bearbeitet interdisziplinäre Projekte oder absolviert Praktika. Doch die Zeit im Rahmen von solchen Veranstaltungen ist auch begrenzt. Sich praktisch auszuprobieren, neuen Herausforderungen zu stellen und kreative Lernerfahrungen jenseits des Vorlesungssaals zu machen, ist in der heutigen Zeit jedoch wichtiger denn je; angesichts aktueller Herausforderungen reicht es heute laut Anja Geigenmüller, Vizepräsidentin für Studium und Lehre an der TU Ilmenau, nicht mehr, umfassendes Fachwissen zu besitzen. *Wir brauchen eine neue Art des kreativen Lernens und ein völlig anderes Verständnis, wie man Wissen und Kompetenzen vermittelt.* Und dafür brauche man auch neue Lernräume – auch im physischen Sinn –, in denen Studierende sich ausprobieren und Handlungskompetenzen entwickeln könnten.

Ort der Kreativität

Ein solcher Raum ist das neue *IlmkubatorLab* an der TU Ilmenau, das allen Studierenden und Mitarbeitenden, Gründungsinteressierten und Teilnehmenden der Ilmkubator Class zur Verfügung steht. Es ist nach Aussage von Matthias Testa ein Ort der Kreativität,



Eine Lupenleuchte zum ermüdungsfreien Prüfen von elektronischen Bauteilen gehört zur Ausstattung des IlmkubatorLabs

(© TU Ilmenau/Ilmkubator)

tät, des *Selber Tuns*, wo etwas entsteht und etwas neu erschaffen wird. Matthias Testa ist Gründungsberater und Leiter des neuen Lernraums im Ilmkubator, dem Gründungsservice der TU Ilmenau. Ob Löten, Programmieren, Sägen, Fräsen oder Prototypen entwickeln – im neuen IlmkubatorLab ist alles möglich. Bereits jetzt stehen dafür zahlreiche Maschinen und Geräte bereit: vom 3D-Drucker bis hin zur Tauchsäge für die Holzbearbeitung. Auch eine Lupenleuchte zum ermüdungsfreien Prüfen von elektronischen Bauteilen gehört zur Ausstattung des IlmkubatorLabs.

Zugleich ist das Labor in den Finnhütten auf dem Fischerhüttengelände ein Teil des neuen FabLabs – von englisch: Fabrication Laboratory – an der Universität, das verschiedene Makerspaces an der TU Ilmenau miteinander verbinden soll. Dazu gehören neben dem IlmkubatorLab auch die Schüler- und Studierendenwerkstatt UNIKAT, die Lehrwerkstatt für Auszubildende und die neue Lernwelt in der Universitätsbibliothek.

Geplant ist, dass die Maschinen in den verschiedenen Makerspaces der Universität über ein gemeinsames Online-System (*FabLab@*

TU Ilmenau) zusammengeführt werden. So können Interessierte rund um die Uhr Maschinen und Geräte buchen, sich austauschen, Projekte planen, organisieren und sogar veröffentlichen. Nicht zuletzt können sie so auch Inspiration für andere sein. *Mit dem FabLab@TU Ilmenau wollen wir Menschen, Projekte und Maschinen online miteinander verbinden und auch virtuelle Trainings wie 3D-Druck-Schulungen anbieten,* erklärt Dr. Nicola Henze vom Zentralinstitut für Bildung (ZIB), die das FabLab@TU Ilmenau im Rahmen des Projekts *examING – Digitalisierung des kompetenzorientierten Prüfens für ingenieurwissenschaftliche Bachelorstudiengänge* koordiniert.

Matthias Testa sieht im neuen IlmkubatorLab auch einen Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit an der TU Ilmenau: *Warum muss eine Drehmaschine irgendwo stehen, die nur selten gebraucht wird, wenn sie in unserem IlmkubatorLab für kreative Projekte genutzt werden kann?*

Produktion von Prototypen kennenlernen

Allein in den letzten Wochen wurden Testa von anderen Mitarbeitenden der TU Ilmenau verschiedenste Gerätschaften für das neue IlmkubatorLab angeboten, die derzeit ungenutzt sind. Als Wirtschaftsingenieur der Produktionstechnik ist Matthias Testa seit 2013 auf so genannten *Makerfairs* unterwegs und weiß, dass es manchmal nur die richtigen Maschinen und etwas Raum für Kreativität braucht, um Neues zu entwickeln: Er denkt da zum Beispiel an den Studenten, der sich ein Surfboard machen wollte. Angefangen habe er mit der Fräsmaschine in der Studierendenwerkstatt UNIKAT, irgendwann habe er dann ein CAD-Modell erstellt und mittlerweile habe er sein eigenes Unternehmen für Surfbretter gegründet.

Auch im IlmkubatorLab können Studierende und andere Interessierte unter Aufsicht und Anleitung die ganze Werkzeugkette für die Produktion von Prototypen kennenlernen. Matthias Testa ist sich sicher: *Wir können Innovationen nur stärken, wenn wir Maschi-*



Matthias Testa leitet das IlmkubatorLabs

(© TU Ilmenau/Ilmkubator)



Studierende, Vereinsvertretende, Partner und Partnerinnen kamen zur Eröffnung des IlmkubatorLabs

(© TU Ilmenau/Ilmkubator)

nen sichtbar und verfügbar machen. Nur durch das Ausprobieren werde Zutrauen in

die eigenen Fähigkeiten gewonnen und Mut entwickelt, etwas selbstständig zu machen. Und nur so komme man als Gesellschaft weiter. Für Studierende und Mitarbeitende der TU Ilmenau sei deshalb der Zugriff auf alle Fertigungstechnologien ein essentieller Bestandteil für Innovation: Da gehöre auch eine Wärmebildkamera oder eine Nähmaschine dazu.

Alle verfügbaren Maschinen und Geräte sind künftig im *FabLab@TU Ilmenau* buchbar, das bereits jetzt unter fabman.tu-ilmenau.de ge-

testet werden kann. Zurzeit erfolgt die Buchung von Räumen und Maschinen noch telefonisch oder per E-Mail. Ab April soll das

IlmkubatorLab dann in den Finnhütten an zwei Wochentagen für alle Studierenden und Mitarbeitenden geöffnet werden. Weiterführende Informationen hierzu folgen zum Semesterstart. Matthias Testa freut sich, dass er damit seiner Vision ein ganzes Stück nähergekommen ist: Jeder Student und jede Studentin solle schon am ersten Tag des Studiums wissen, was das FabLab ist und welche Möglichkeiten man dadurch hier an der TU Ilmenau habe.

Der Ilmkubator ist der Gründungsservice der TU Ilmenau und wird im Rahmen der Linie *EXIST-Potentiale* durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz sowie EXIST gefördert.

Kontakt:

Matthias Testa, Leiter des IlmkubatorLab,
E-Mail: matthias-ernesto.testa@tu-ilmenau.de
➔ www.tu-ilmenau.de



WIR SUCHEN SIE!

Die **RMA** ist ein weltweit agierendes, in zweiter Generation familiengeführtes Unternehmen, welches sich im Laufe der Jahre zu der stark angewachsenen RMA Unternehmensgruppe entwickelt hat. 100% H2-tauglichkeitsgeprüfte Produkte, sowie Komponenten und Systemlösungen für Wasserstoff, Wasser, Öl, Gas und Fernwärme werden an den Standorten in Europa, Nordamerika, Asien und im Mittleren Osten konstruiert, hergestellt und vertrieben. Service- und Engineering Leistungen sowie Softwareprodukte für die Überwachung Messtechnischer Anlagen runden das RMA-Produktportfolio ab.



An unserem Standort in Kehl ist europaweit eine der modernsten Hartchromanlagen installiert.

Zum nächstmöglichen Zeitpunkt suchen wir für unseren Standort in Kehl einen

GALVANISEUR/OBERFLÄCHENBESCHICHTER

| m | w | d |

IHRE AUFGABEN:

- Vorbereitung, Steuerung und Überwachung von Galvanikanlagen
- Fertigungsaufträge sichten und Bearbeitungsreihenfolge festlegen
- Prozessmedien- und Hilfsstoffverwaltung
- Werkstückvorbereitung und Fertigungsfreigaben
- Prozessparameter und Expositionszeiten festlegen
- Qualitätskontrollen durchführen
- Durchführung und Überwachung von Wartungs- und Instandhaltungsaufgaben
- Vertretung des Abteilungsleiters

IHR PROFIL:

- Ausbildung zum Galvaniseur oder Oberflächenbeschichter
- Kenntnisse in der Anwendung von Computergesteuerten Beschichtungsanlagen
- Selbstständiges Arbeiten und hohes Qualitätsbewusstsein

IHRE VORTEILE BEI UNS:

Spannendes, innovatives Umfeld | Betriebliche Altersvorsorge | Weiterbildungsmöglichkeiten | E-Bike Leasing | täglicher Zuschuss zum Kantinenessen | uvm.

JETZT BEWERBEN!



RMA Kehl GmbH & Co. KG
Oststraße 17 | 77694 Kehl
Deutschland | www.rma.de
personal@rma-rheinau.de



WEITERE INFORMATIONEN: www.rma-armaturen.de/stellen/galvaniseur-oberflaechenbeschichter-mwd/
KONTAKT: Frau Manuela Waldmann | personal@rma-rheinau.de | Tel. +49 7844 404 327



I know where ...



ID Solutions GmbH



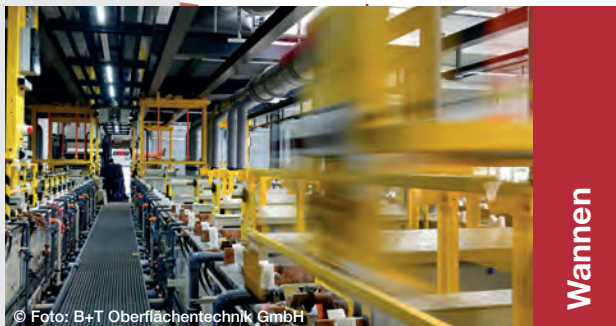
Chemikalien

© Foto: iStock/jittawit.21



Maschinen-
management

© Foto: iStock/NanoStockk



Wannen

© Foto: B+T Oberflächentechnik GmbH



Aufträge

© Foto: iStock/Fritz Jorgensen

... do you?

Ganz einfach
den **Überblick** behalten!

Wege zur Klimaneutralität
in der Galvanotechnik
(13.06.23, Stuttgart)

Eine Veranstaltung des  **Fraunhofer**
mit Gastredner **Frank Benner**.
IPA

Innovationskraft ungebremst – IT Lösungen nach Maß

B+T ID Solutions GmbH

Am Surbach 5 | D-35625 Hüttenberg | Telefon +49 64 41 / 78 06 226 | kontakt_bti@bt-unternehmensgruppe.de

